UNIVERSITY
OF
TORONTO
LIBRARY

E. Haselhoff und E. Blanck

Lehrbuch der Agrikulturchemie

Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/34444006664056

Soil
H.

Lehrbuch der Agrikulturchemie

herausgegeben von

Professor Dr. E. Haselhoff und **Professor Dr. E. Blanck**

Direktor der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Harleshausen

Direktor des agrikulturchemischen und bodenkundlichen Instituts der Universität Göttingen

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

I. Teil

Pflanzenernährungslehre

von

Dr. E. Blanck

ordentl. Professor und Direktor des agrikulturchemischen und bodenkundlichen Instituts der Universität Göttingen

223349
19. 6. 28

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Schöneberger Ufer 12 a

1927

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright, 1927, by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Germany

Druck von E. Buchbinder (H. Duske) in Neuruppin

Vorwort

In dem vorliegenden ersten Teil eines Lehrganges der Agrikulturchemie findet die Lehre von der Ernährung der Pflanze ihre Behandlung. Jedoch ist nicht beabsichtigt, eine erschöpfende Darstellung aller einschlägigen Verhältnisse zu geben, um nicht den Anfänger zu überlasten, noch ihn durch die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen und Fülle des Stoffs zu verwirren. Nur die wichtigsten Züge des pflanzlichen Ernährungs- und Stoffwechselvorganges, soweit diese für den studierenden Landwirt von Bedeutung sind, und deren grundlegende Kenntnis für die praktischen Maßnahmen der Düngung vorausgesetzt werden muß, sind zur Wiedergabe gelangt. Dabei ist besonders Gewicht auf die Darstellung der chemischen Verhältnisse gelegt worden, und zwar aus dem Grunde, weil nur diese imstande sind, einen klaren Einblick zu gewähren und den Anfänger bezw. den nicht sonderlich mit den Naturwissenschaften vertrauten Landwirtschaftsstudierenden davor zu schützen, die in Rede stehenden Probleme unwissenschaftlich und oberflächlich zu behandeln, wodurch Zweck und Ziel des Unterrichtes in den grundlegenden Naturwissenschaften für Landwirte an Universitäten und Hochschulen in Frage gestellt werden.

Um den Stoff lebhafter zu gestalten, ist die nüchterne, schematische Darstellungsweise, wie sie unseren eigentlichen Lehrbüchern eigen ist, verlassen. Es ist versucht worden, in einem mehr vortragenden und erzählenden Ton das ganze Lehrgebäude der Pflanzenernährungslehre kurz zusammenfassend in der Art wie es Adolf Mayer in seinem Lehrbuch der Agrikulturchemie und Emil Abderhalden in seinem Lehrbuch der physiologischen Chemie getan haben, zu behandeln. Bei dem vorbildlichen Charakter dieser beiden umfassenden Werke und der bei beiden Autoren geradezu als klassisch zu bezeichnenden Behandlungsweise des

Stoffs, hat es sich aber als unvermeidlich erwiesen, mehr als ursprünglich gewollt, auf sie zurückzugreifen, so daß der Eingeweihte manche Anklänge finden wird, die aber nur unter Preisgabe einer besseren Auffassung und geschickteren Darstellung hätten vermieden werden können.

Von Literaturnachweisen in vollem Umfange ist abgesehen worden, nur der Teil, der sich mit den Ernährungsfragen beschäftigt, die die Lehre von der Düngung unmittelbar vorbereiten, also das Kapitel über die Aschenbestandteile ausmachen, ist mit solchen ausgestattet. Es geschah dies nicht nur, um schon rein äußerlich die botanisch-physiologischen von den mehr agrikulturchemischen Erscheinungen und Fragen zu kennzeichnen, sondern um dem Landwirtschaftsstudierenden, für den das Buch in der Hauptsache bestimmt ist, das Eindringen in die für ihn im Vordergrund des praktischen Interesses stehenden Fragen zu erleichtern, indem auf diese Weise zum Ausdruck gelangt, an welcher Stelle für ihn ein eingehenderes Studium, bezw. nähere Beschäftigung mit der Literatur einzusetzen hat.

Bei der Ausarbeitung des Sachregisters sowie bei der Korrektur haben mich die Herren Dr. F. Giesecke und Dr. H. Keese in dankenswerter Weise unterstützt.

Göttingen, Oktober 1926

E. Blanck

Inhaltsverzeichnis

Seite

Einleitung: Inhalt und Wesen der Agrikulturchemie 1

Pflanzenernährungslehre

1. Die Bildung der organischen Substanz und der Gegensatz im Stoffbildungsvermögen von Pflanze und Tier 10
2. Die Stoffbestandteile der Pflanze im allgemeinen 17

I. Teil

A. Die chemische Zusammensetzung der organischen Pflanzensubstanz im besonderen 23

a) Das Chlorophyll 24
b) Die Fette, Wachse, Sterine und Phosphatide 30
c) Die Kohlehydrate 39
d) Das Eiweiß und seine Bausteine; Nukleoproteide und Alkaloide 60

B. Die Aschenbestandteile im allgemeinen 94

Die chemische Zusammensetzung der Aschenbestandteile im besonderen und ihre Assimilation.

a) Der Aschenbestandteil Schwefel 105
b) Der Phosphor als Aschenbestandteil 108
c) Der Aschenbestandteil Silicium 113
d) Das Chlor als Aschenbestandteil 118
e) Die Aschenbestandteile Kalium und Natrium 121
f) Kalzium und Magnesium als Aschenbestandteile 131
g) Der Aschenbestandteil Eisen 137
h) Die übrigen Aschenbestandteile 140

II. Teil

Die Bildung und Umbildung der organischen Substanz in der Pflanze

a) Die Kohlenstoffassimilation 147
b) Die Entstehung und Wanderung der Kohlehydrate 155
c) Die Bildung der Fette und ihrer Verwandten 159
d) Die Pflanzensäuren und die Atmung 163
e) Die Stickstoffassimilation 170
f) Die Wandlungen der stickstoffhaltigen Substanz im Pflanzenkörper . . . 181

Autorenregister 190

Sachregister 192

Inhalt und Wesen der Agrikulturchemie

Die Agrikulturchemie gehört zu den Naturwissenschaften und als solche fällt ihr die Aufgabe zu, bestimmte Naturerscheinungen methodisch zu erforschen. Die erste Frage, die wir uns daher vorzulegen haben, ist die: welche Naturerscheinungen fallen in den Bereich unserer Wissenschaft?

Bevor wir jedoch an die Beantwortung dieser Frage herantreten, wird es zweckmäßig sein, uns Klarheit über das Wort, die Bezeichnung, Agrikulturchemie zu verschaffen. Der Name Agrikulturchemie läßt nun zwar sicherlich darauf schließen, daß wir es in ihr mit einer Wissenschaft zu tun haben, die in irgendeiner Beziehung zur Agrikultur, d. h. zum Landbau bezw. im erweiterten Sinne zur Landwirtschaft steht, und zwar vermutlich der letzteren zu dienen hat. Das Wort Chemie dagegen besagt uns, daß es sich dabei vermutlich um chemische Vorgänge oder doch um Erscheinungen handeln dürfte, die durch chemische Prozesse ihre Erklärung und Behandlung finden. Dementsprechend hätten wir etwa die Agrikulturchemie aufzufassen als diejenige Wissenschaft, die mit Hilfe der Chemie alle Vorgänge und Erscheinungen des Landbaus bezw. der Landwirtschaft zu erklären versucht. Wir wären somit auf recht einfache Weise zur Beantwortung obiger Frage gelangt und werden dementsprechend die weitere Frage zu stellen haben, ob die soeben dargelegte Auffassung auch u. a. U. als zu Recht bestehend angesehen werden darf?

Wir dürfen wohl sagen, daß dieses ohne weiteres nicht der Fall ist, wenn auch die aus dem Wort Agrikulturchemie, also rein äußerlich abgeleitete Formulierung des Begriffes Agrikulturchemie, viel Zutreffendes enthält.

Lassen wir jedoch die oben entwickelte Ansicht zunächst einmal gelten, so würden wir unter Agrikulturchemie diejenige Wissenschaft zu verstehen haben, die sich mit den physischen Erscheinungen beschäftigt, welche für das Gedeihen der landwirtschaftlich in Frage kommenden Organismen Gültigkeit beanspruchen. Es sind also in erster Linie die Ernährungsbedingungen und Vorgänge der landwirtschaftlich genutzten Pflanze und des landwirtschaftlich genutzten Tieres, die durch diese Wissenschaft ihre Erklärung zu finden haben. Eine allgemeine

physiologisch-chemische Grundlage der Pflanzen- und Tierzucht, aber auch des Gärungsbetriebes sowie sonstiger Zweige landwirtschaftlich-technischer Nebenbetriebe und Gewerbe, die durch physiologisch-chemische Prozesse bedingt sind, würde demnach unsere Wissenschaft darstellen. In diesem Sinne hat denn auch der Begründer unserer heutigen Agrikulturchemie Justus von Liebig seine Wissenschaft aufgefaßt, indem er seine Lehren unter dem Titel „Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie" der Öffentlichkeit übergab. „Dem chemischen Prozeß der Ernährung der Vegetation" und den „Naturgesetzen des Feldbaues" sind auch dementsprechend die beiden Bände seines Hauptwerkes gewidmet worden.

Sehen wir uns aber die von unserer Wissenschaft zu behandelnden Fragen etwas näher an, so werden wir bald erkennen, daß es nicht allein die Chemie ist, welche dieselben zu lösen sucht, noch zu lösen imstande ist, sondern es nehmen noch eine ganze Anzahl anderer Disziplinen der Naturwissenschaft regen Anteil am Aufbau des Gebäudes der heutigen Agrikulturchemie. So sind Physik, Mineralogie und Geologie, Bakteriologie, Pflanzen- und Tierphysiologie und noch viele andere Naturwissenschaften daran beteiligt.

Somit müssen wir unbedingt zugeben, daß der Begriff Agrikulturchemie ein viel weitgehenderer ist, als wir nach obiger Auffassung anzunehmen geneigt waren, denn man könnte auch ebenso gut von einer Agrikulturphysik, Agrikulturgeologie, Agrikulturbotanik usw. sprechen. Man hat dies auch in der Tat getan, aber doch immer nur dann, wenn es sich um gewisse, eigentümliche Vorgänge innerhalb der zu betrachtenden Erscheinungen des Gesamtgebietes unserer Wissenschaft handelt. Weil aber, so dürfen wir sagen, die Bezeichnung Agrikulturchemie ein historisches Recht hat, und die meisten zu behandelnden Fragen und Untersuchungen in das Gebiet der Chemie fallen, so sprechen wir mit vollem Recht von einer selbständigen Wissenschaft der Agrikulturchemie.

Daß die Agrikulturchemie zu den sogenannten angewandten Wissenschaften im Gegensatz zu den reinen Wissenschaften gehört, bedarf nach den gepflogenen Erörterungen wohl nicht mehr des näheren Hinweises. Den Unterschied zwischen beiden Wissenschaftsarten, sowohl hinsichtlich des Gegenstandes wie der Methode seiner Erforschung dürfen wir recht glücklich mit Adolf Mayer dahin kennzeichnen, daß wir sagen, „bei den reinen Wissenschaften ist das Forschungsgebiet ein unbegrenztes, die Forschungsmittel aber in einem gewissen Sinne begrenzt, bei den angewandten Wissenschaften ist gerade das Umgekehrte" der Fall. Die reinen Wissenschaften suchen bekanntlich die letzten Ursachen der Erscheinungen und Dinge aufzudecken, sie setzen somit keine Erkenntnis als die eigene voraus. Ganz anders ist es aber mit

dem Wirkungsbereich der angewandten Wissenschaften bestellt, denn sie führen die Erklärung der Erscheinungen nur bis auf diejenigen Ursachen zurück, deren Lösung den reinen Wissenschaften obliegt. Sie vermitteln also gewissermaßen nur die Kenntnis und das Zustandekommen von an sich komplizierten Erscheinungen, die zu ihrer endgültigen Erklärung noch weiterer, und zwar einfacher Ursachen bedürfen. Jedoch ein Beispiel möge das Verhältnis noch deutlicher vor Augen führen.

Chemie und Physik sind wohl die bekanntesten reinen Wissenschaften. Eine jede physische Erscheinung ist also ohne weiteres ihrer Behandlung zugänglich, aber dennoch nehmen beide Wissenschaften in recht verschiedener Weise Anteil daran, denn die Chemie wünscht nur die Ursache der stofflichen Verschiedenheit oder Veränderung der vorliegenden Erscheinung aufzudecken, während die Physik nur der Ursache der Kraftäußerungen dieser Erscheinung nachgeht. D. h. aber nichts anderes, als daß die Forschungsmethoden beider Wissenschaften eng begrenzt sind.

Eine so scharfe Umgrenzung kennen die angewandten Wissenschaften nicht. Unsere Agrikulturchemie selbst mag uns hier als Beispiel dienen. Denn ob sich diese heute mit den Wandlungen des Stickstoffs im Boden beschäftigt und sie zu ergründen sucht und sich zu diesem Zwecke chemisch-analytischer oder bakteriologischer Methoden bedient, ob sie morgen die Verwertung eines Futtermittels durch den Tierkörper festzustellen trachtet und dabei physiologisch-chemisch vorgeht, oder ob sie ein andermal die physikalischen Eigenschaften der Ackererde, die für die Fruchtbarkeit, Bearbeitung und Düngung des Bodens von Wichtigkeit sind, zu ergründen sucht und hierfür eine rein physikalische Arbeitsweise wählt, immer handelt es sich bei ihrem Tun nur darum, die vorhandenen realen Vorkommnisse zu erklären. Die Mittel dazu nimmt sie aber, wie wir gesehen haben, aus jeder Wissenschaft, die ihr für den jeweiligen Zweck als brauchbar erscheint. Der Zweck, um dessen willen die Erklärung der Erscheinungen aber gesucht wird, d. h. in unserem Fall die Erkenntnis landwirtschaftlich wichtiger Erscheinungen zu fördern, tritt zunächst völlig zurück. Es sei dieses aus dem Grunde betont, weil man leicht der Ansicht zuneigen könnte, daß angewandte Wissenschaften nur solche seien, die wir gemeiniglich als Technologien zu bezeichnen pflegen. Dies ist aber durchaus nicht der Fall, denn u. a. gehören auch die Mineralogie, Geologie und Botanik zur Gruppe der angewandten Wissenschaften.

Kaum bedarf es nun aber wohl des Hinweises, daß unsere Wissenschaft theoretischer wie praktischer Natur ist, insofern sie einmal die Gesetze der physischen Erscheinungen des Landbaus zu ergründen sucht, ein andermal, indem sie die sich hieraus ergebenden Erfahrungen für die landwirtschaftliche Praxis zu verwerten trachtet.

Zwar kann es keinem Zweifel unterliegen, daß der theoretische Teil oder Inhalt unserer Wissenschaft ebenso gut von gewissen anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen gelehrt werden könnte, wie z. B. einerseits von der Botanik, andererseits von der Zoologie, oder sagen wir zusammenfassend und damit den eigentlichen Kern der Sachlage besser treffend, von der Physiologie bezw. Biochemie, soweit es sich um die Ernährungsvorgänge der landwirtschaftlich genutzten Organismen handelt. Jedoch trotzdem wir einen solchen Standpunkt als möglich zugeben, müssen wir andererseits doch ganz besonders betonend hervorheben, daß eine derartige Auffassung nicht allen jenen Gesichtspunkten Rechnung zu tragen vermag, die wir als unbedingt notwendig für eine günstige Entwicklung der Agrikulturchemie ansehen müssen. Denn es ist selbstverständlich, daß unter solchen Verhältnissen nicht nur der innere Zusammenhang des Ganzen leidet, sondern daß auch vor allen Dingen die so unbedingt notwendigen engen Beziehungen zum praktischen Leben, d. h. in unserem Fall Landwirtschaft, nicht mehr vorhanden sein werden. In der Tat hat denn auch der bisherige Werdegang unserer Wissenschaft dargetan, daß wir vom heutigen Stande unserer Erkenntnis noch sehr weit entfernt sein würden, wenn wir den genannten Naturwissenschaften allein die Pflege unseres Wissensstoffes überlassen hätten. Aus naheliegenden Gründen haben von jeher die in Frage kommenden Mutterwissenschaften die einschlägigen Fragen unserer Wissenschaft stiefmütterlich behandelt, woraus jenen Disziplinen kein Vorwurf gemacht werden soll, worauf aber doch zum Verständnis der Sachlage hingewiesen werden muß. Erst infolge der großen landwirtschaftlich-praktischen Bedeutung, die man solchen Fragen zollen mußte, entwickelte sich die Agrikulturchemie, losgelöst von jenen Disziplinen, als selbständiger Wissenszweig, und gerade hierin liegt ihre Eigenart und ihr Sonderwert begründet. Pflanzenernährungslehre und Tierernährungslehre haben dementsprechend auch nur Agrikulturchemikern ihre heutige Höhe zu verdanken, während sich die Physiologie mehr rein theoretischen Untersuchungen hingab. Gleiches gilt für die Bodenkunde in Hinsicht auf Mineralogie und Geologie. Aber auch die Landwirtschaftslehre hat in diesem Sinne der agrikulturchemischen Forschung keine bevorzugte Förderung zu bringen vermocht.

Aus diesen Gründen beanspruchen wir für unsere Wissenschaft, die auf den Uneingeweihten scheinbar den Eindruck einer Enzyklopädie, also einer Sammelwissenschaft von nur unvollkommen zusammengehörigen Tatsachen und Dingen hervorrufen könnte, ihre Selbständigkeit. Sie bildet wie jede andere angewandte Wissenschaft ein harmonisches Ganzes, das seinen inneren Zusammenhang durch den praktischen Zweck erhält, dem sie zu dienen hat, nämlich der Landwirtschaft. Sie ist eine angewandte physische Wissenschaft, die, trotzdem

sie z. T. recht theoretischer Natur ist, doch in ihren Grenzen durch den soeben schon angedeuteten Zweck, der Landwirtschaft zu dienen und sie zu fördern, bestimmt wird.

Wir haben vernommen, daß sowohl Pflanze, Tier und Boden einer agrikulturchemischen Behandlungs- bezw. Betrachtungsweise unterzogen werden können und müssen daher der Frage näher treten, wie es möglich ist, daß Pflanze, Tier und Boden zum Gegenstand einer solchen Forschung haben werden können?

Bekanntlich ist es die Aufgabe des landwirtschaftlichen Gewerbes, die Rohstoffe für die Ernährung von Mensch und Tier in der Natur zu produzieren und z. T. auch derartig zu verarbeiten, daß sie der menschlichen Ernährung unmittelbar dienen können. Um dies Ziel zu erreichen, muß aber seitens des Landwirts nicht nur anstrengende Arbeit geleistet werden, sondern es bedarf auch der Einsicht, vieler Kenntnisse und der Geschicklichkeit, um nicht nur die höchstmögliche Produktion menschlicher Nahrungsstoffe zu gewährleisten, sondern um auch deren Beschaffenheit den Bedürfnissen des Menschen zweckmöglichst anzupassen. D. h. es bedarf u. a. auch einer Auswahl der Nährstoffe, denn der Mensch lebt von sehr verschiedenen Produkten des Feldes und der Tierzucht. Wir entnehmen hieraus ohne weiteres, daß Pflanzenproduktion und Tierproduktion die Nahrungsbausteine für den Menschen liefern. Wie aber das Tier für seine Erhaltung und Ernährung die Anwesenheit pflanzlicher Wesen und Stoffe voraussetzt — soweit es kein Fleischfresser ist, die der Mensch im allgemeinen allerdings als Nahrung bekanntlich verschmäht —, so benötigt die Pflanze zu ihrem Gedeihen und Fortkommen nicht nur des Standortes, aus dem sie einen Teil ihrer Nahrung schöpft, sondern auch der umgebenden Luft, der sie gleichfalls einen Teil der zum Aufbau ihrer Leibessubstanz erforderlichen Rohstoffe entnimmt. Ferner bedarf sie des Wassers, und zwar einmal desselben als solches, dann aber auch zur Zufuhr eines gewissen Teils ihrer Nahrungsstoffe in geeigneter Form. Wie wir somit erkennen, handelt es sich hier um eine ganze Kette von Erscheinungen, deren Zustandekommen den Vollzug einer anderen Erscheinung als unbedingt vorhanden voraussetzen. Da aber all' die genannten Vorgänge der Überführung von Stoffen aus der Luft und aus dem Boden in die Pflanze und durch die Pflanze in das Tier chemische und z. T. physiologische Prozesse darstellen, so bedarf es einer eingehenden naturwissenschaftlichen Kenntnis dieser Erscheinungen, um die Produktion der Nahrungsstoffe, sowohl der Quantität wie der Qualität nach, in jene Bahnen zu lenken, die dem Menschen für seine Zwecke als erwünscht erscheinen. Jedoch es handelt sich sogar, wie wir alsbald sehen werden, nicht nur allein um die Erzeugung von Nährstoffen, sondern auch Kräftewerte sollen durch die besagten Erscheinungen zur Auslösung gelangen.

Jedenfalls ergibt sich aber aus diesen Wechselbeziehungen in der Erscheinungswelt, daß wir Boden, Pflanze und Tier — falls wir die Luft als außerhalb des Bereiches menschlichen Eingriffs liegend vernachlässigen — als die Rohstoffe und auch Rohkräfte des landwirtschaftlichen Gewerbes aufzufassen haben. Sie geben die Grundlage für alle weiteren Vorgänge, die uns zu beschäftigen haben, ab.

Ganz ungezwungen vermögen wir daher die Agrikulturchemie in Hinsicht auf den zu bewältigenden Arbeitsstoff in mehrere Unterabteilungen zu zergliedern, indem wir zunächst von den schon an und für sich genügend scharf gesonderten und gekennzeichneten beiden großen Reichen der Organismen, nämlich einerseits der Pflanzen-, andererseits der Tierwelt ausgehen.

Diesem Einteilungsprinzip ist unbedingt Rechnung zu tragen, denn die Theorie des Pflanzenbaus hat ihre ganz besonderen Eigentümlichkeiten gegenüber der Theorie der Viehhaltung aufzuweisen. Diese Verschiedenheit ist eben in der besonderen Art beider Organismen-Klassen begründet. Dementsprechend ist auch die Pflanzenernährung der Tierernährung gegenüber gesondert zu behandeln, und wir werden bald Gelegenheit nehmen, die charakteristischen Unterschiede beider Ernährungsweisen gegenüberzustellen, wenn auch bei näherer Einsicht in die Verhältnisse, wie schon hier hervorgehoben sein mag, die Gegensätze nicht so groß erscheinen, wie sie aus gewissen Gründen gemeiniglich hingestellt werden.

Also, um es nochmals zu betonen, wir haben den Gesamtwissensstoff unserer Wissenschaft zunächst in Pflanzenernährungslehre einerseits und Tierernährungslehre andererseits zu zerlegen, oder wenn wir uns sehr zweckmäßig mit Adolf Mayer ausdrücken wollen, so müssen wir von der Ernährung der chlorophyllführenden im Gegensatz zu der der chlorophyllfreien Organismen sprechen. Man ist nämlich hierdurch unzweifelhaft imstande, die trennenden Unterschiede beider Reiche in ihren Ernährungserscheinungen viel deutlicher zum Ausdruck zu bringen. Auch erweist sich die einer solchen Ausdrucksweise zugrundeliegende Auffassungsweise viel besser den Bedürfnissen der Praxis angepaßt. Man gelangt auf diese Weise ganz ungezwungen einerseits zur Grundlage und Entwicklung einer Theorie des Feldbaus, andererseits zu einer solchen der Viehhaltung und auch des Gärungsgewerbes. Der Lehre von der Produktion der organischen Substanz durch die chlorophyllführenden Pflanzen, das sind die höheren grünen landwirtschaftlichen Nutzgewächse, steht sodann die Lehre von der Umbildung und Zerstörung dieser Substanz durch die verschiedenen nicht grünen chlorophyllosen Organismen, das sind die landwirtschaftlichen Nutztiere wie auch die gärungserregenden Pilze, gegenüber (A. Mayer).

Der erste Teil unserer Erörterungen wird also den Ernährungserscheinungen der Pflanze gewidmet sein, und zwar denjenigen der chlorophyllführenden autotrophen Pflanze, weil nur diese als landwirtschaftliche Nutzpflanze in Betracht kommt. Hieran wird sich ganz naturgemäß die Betrachtung, sagen wir kurz der realen Verhältnisse, unter denen die Ernährung derselben in der landwirtschaftlichen Praxis geschieht, anschließen. Hierzu gehört aber vor allen Dingen die Kenntnis der Ernährungsbedingungen, wie sie der Standort der Pflanzen, also der Boden, mit sich bringt, sodann die Lehre von der Zusammensetzung der Nährstoffe, die der Pflanze in Gestalt des Düngers gereicht werden, und nicht zuletzt die zweckmäßige Auswahl und Verabfolgung derselben. Also der Pflanzenernährungslehre hat sich die Bodenlehre und die Düngerlehre ergänzend an die Seite zu stellen, um auf diese Weise die Grundlage für eine allgemeine Theorie des Feldbaus zu erhalten. Um gleiches für eine Theorie der Viehhaltung zu gewinnen, hat der Tierernährungslehre, die Erörterung der Zusammensetzung der Futtermittel und die ihrer Anwendung, also die Futtermittellehre, zu folgen. Da sich aber bei der außerordentlich starken Entwicklung der Agrikulturchemie in den letzten Jahrzehnten die Lehre der das Gärungsgewerbe betreffenden Erscheinungen fast völlig von der Mutterwissenschaft abgetrennt hat, geradeso wie das Gärungsgewerbe heute meist nicht mehr in den Händen des ausübenden Landwirts liegt, sondern sich zu einem selbständigen Industriezweig entwickelt hat, so erscheint die Behandlung diesbezüglicher Fragen im Rahmen eines Lehrganges der Agrikulturchemie den derzeitigen Bedürfnissen wenig angepaßt.

Für den Teil der Pflanzenernährungslehre, der uns zunächst zu beschäftigen haben wird, werden wir im besonderen folgenden Weg für unsere Darlegungen einschlagen.

Wir werden erstens, wenn auch nur ganz kurz, den Gegensatz zwischen Leben und Ernährung der autotrophen grünen Pflanze und des höheren Tieres besprechen, um uns auf diese Weise volle Klarheit über das gewählte Einteilungsprinzip, das uns als Grundlage all unserer weiteren Erörterungen dient, zu verschaffen. Sodann werden wir die Stoffe, die den Pflanzenkörper aufbauen, zu betrachten haben, also gewissermaßen die Bausteine des Pflanzenkörpers festzustellen trachten, und erst nach dieser Erkenntnis die Fragen zu beantworten suchen, woher die Pflanze diese Stoffe bezieht und wie sie dieselben aus anderen Stoffen bildet und umformt, um sie schließlich ihrer eigenen Substanzmasse einzuverleiben. Das heißt aber nichts anderes, als daß wir von der Kenntnis der Anwesenheit, des Vorhandenseins, der verschiedenartigsten chemischen Stoffe und Substanzen in der Pflanze ausgehen und hieraus die Erklärung ihrer Gegenwart und ihres Zustandekommens ableiten.

Die Pflanze mit ihren vielen verschiedenen chemischen Verbindungen und Stoffen ist für uns also das Gegebene, dasjenige, was unserer unmittelbaren Wahrnehmung und damit Forschung zugänglich ist. Wir beobachten die hier zu behandelnden Objekte unmittelbar oder stellen sie vermittelst einfacher oder komplizierterer chemischer Methoden fest und stehen somit bezüglich ihrer Erkenntnis auf fest fundamentiertem naturwissenschaftlichen Boden von unleugbaren Tatsachen. Es ist nicht „graue Theorie", die uns hier entgegentritt, sondern fest gefügtes naturwissenschaftliches Tatsachenmaterial, so daß wir hier nicht der Hypothese, der sich der Wissenschaftler so oft zur Ebnung seiner Wege bedienen muß, bedürfen.

Ganz anders steht es nun aber freilich mit dem Teil unserer Kenntnis, der uns die Frage nach dem „Wie" und „Warum" dieser tatsächlich beobachteten Erscheinung erschließen soll. Hier setzen Induktion und Deduktion — jene beiden nie voneinander zu trennenden Denkformen — ein, und oftmals müssen wir den Boden direkt wahrnehmbarer Tatsachen verlassen, um uns durch Schlüsse, falls das Experiment, d. h. die Fragestellung an die Natur, versagt, den Weg zu bahnen. Hier tritt uns somit die theoretische Forschung, gepaart mit und unterstützt durch die experimentelle naturwissenschaftliche Methodik, mit all ihren Vorzügen und Mängeln, aber auch glänzenden Erfolgen und fruchtlosen Bemühungen entgegen, da auch dem menschlichen Geist in der Erforschung der Dinge letzten Endes unüberschreitbare Grenzen gesetzt sind.

Aber die Ergründung, die Durch- und Erforschung dieser Verhältnisse ist die notwendige Voraussetzung zur Erlangung dessen, was uns das Naturstudium bringen soll, nämlich in unserem Fall — des ausübenden praktischen Landwirts — die Erkenntnis, wie die natürlichen Bedingungen verändert werden können, um den Gang der Erscheinungen in der Weise zu regeln, daß für die Praxis der höchstmögliche Erfolg erreichbar wird.

Nicht immer wird es leicht sein, die Fragen der Praxis auf Grund der Theorie zu meistern. Es liegt dies zum größten Teil darin begründet, daß wir es in der Praxis meist mit mehreren, wenn nicht sogar vielen, unbekannten Faktoren zu tun haben, so daß der theoretischen Behandlung die notwendigen Voraussetzungen fehlen. Aber um so mehr gilt es, sich mit der „grauen Theorie" vertraut zu machen, und sie ist auch nur grau für den, der sie nicht kennt.

Der Teil der Theorie, der uns nun die Nutzanwendung für den praktischen Landwirt bringen soll, d. h. der ihm die planmäßige, zweckdienliche Ernährung der landwirtschaftlichen Nutzpflanze zu übermitteln sucht, ist die Boden- und Düngerlehre, sie kann sich aber nur auf einer pflanzenphysiologischen Ernährungslehre aufbauen. Gleiches gilt

für die Fütterungslehre, der die Physiologie des tierischen Stoffwechsels voraufzugehen hat. Nur die Kenntnis des physiologischen Vorganges der Pflanzen- und Tierernährung gewährleistet die zweckdienliche Auswahl und Anwendung der Dünge- und Futtermittel. Aber für die Ernährung der Pflanze tritt noch ein weiterer wesentlicher Umstand hinzu, der darin begründet ist, daß viele Nährstoffe den Pflanzen nicht direkt verabfolgt werden können, sondern oftmals erst dem Boden einverleibt werden müssen, um dort für ihre Aufnahme günstige Umwandlungen zu erleiden. Somit bildet die Kenntnis vom Boden, was sowohl seine Beschaffenheit als die sich in ihm abspielenden chemisch-biologischen Vorgänge anbelangen, letzten Endes die Grundlagen unserer Darlegungen.

Pflanzenernährungslehre

I. Die Bildung der organischen Substanz und der Gegensatz im Stoffbildungsvermögen von Pflanze und Tier

Alljährlich zeigt sich dem Landwirt aufs deutlichste, daß die Pflanze aus unbelebten, sog. anorganischen Stoffen, belebte organische Substanz bildet, denn er reicht in Gestalt der Mineraldüngung dem Boden anorganische Salze und entnimmt dafür dem Felde organische Substanz durch die Ernte. Es muß sich also um eine Stoffwandlung, die von der Pflanze vorgenommen wird, handeln, da nach den Gesetzen der Chemie von einer Neubildung, bezw. „Schöpfung" eines neuen Stoffes nicht die Rede sein kann. Aber ihre Nahrung entnimmt die Pflanze nicht allein der Düngung, auch aus dem Boden und aus der Luft wird ihr solche zur Verfügung gestellt. In beiden Medien liegt sie aber gleichfalls bei weitem vorwiegend als anorganische Substanz vor.

Wenn nun auch der Unterschied zwischen anorganischer und organischer Materie im allgemeinen wohl bekannt sein dürfte, so sei doch aus prinzipiellen Gründen etwas näher auf dieses Sachverhältnis eingegangen.

Früher bezeichnete man ganz allgemein als anorganische Substanzen diejenigen, die dem Mineral- und Gesteinsreich entstammen, während als organische Körper solche angesehen wurden, die durch die Mitwirkung organischer, also lebender, physiologisch tätiger Wesen, ihre Entstehung nehmen. Der Begriff der organischen Substanz ist somit ursprünglich gewissermaßen als ein fast selbstverständlicher hingenommen worden, denn man glaubte auf Grund der Beobachtung in der Natur mit vollkommener Berechtigung schließen zu dürfen, daß außerhalb des organischen Körpers, d. h. des organischen Lebewesens, kein derartiger Stoff zur Bildung gelangen könne. Diese Ansicht mußte sich aber mit einem Schlage ändern, als es Friedrich Woehler im Jahre 1828 gelungen war, den Harnstoff, jenes allbekannte Stoffwechselprodukt des tierischen Organismus, künstlich, oder wie der Chemiker sagt, synthetisch, aus den aus rein anorganischen Materialien hervorgehenden Cyanverbindungen und den gleichfalls anorganischen Abkömmlingen, Ammoniaksalzen, herzustellen. Das cyansaure Ammonium ließ sich

nämlich in wässeriger Lösung beim Eindampfen leicht in eine wässerige Lösung von Harnstoff nach der Gleichung $NH_4CNO = CO\langle^{NH_2}_{NH_2}$ überführen. Da aber Kaliumcyanid durch Überleiten von Stickstoff über ein glühendes Gemisch von Kohle und Kaliumkarbonat dargestellt werden kann, und das Kaliumcyanid durch Oxydation in Cyanat und dieses durch Behandlung mit Ammoniak in das Ammonsalz desselben übergeht, so zeigt sich auf diese Weise der rein synthetische Aufbau des Harnstoffs als bewiesen, wenn freilich auch erst nach Woehlers Entdeckung dieser experimentelle Beweis erbracht wurde.

Aber trotzdem glaubte man zunächst immer noch die althergebrachte Ansicht von der Erzeugung der organischen Substanz im organischen Körper durch eine besondere Lebenskraft erklären zu müssen. Jedoch bald folgten weitere Synthesen, wie diejenige Berthelots (1856) von der Darstellung des Kaliumformiats $H \cdot COOK$, durch Überleiten von Kohlenoxyd über erhitztes Kaliumhydroxyd, dann die Gewinnung des Azetylens, C_2H_2, durch direkte Vereinigung der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff unter dem Einfluß des elektrischen Funkens. Damit geriet das alte Dogma von der die organischen Verbindungen erzeugenden vis vitalis mehr und mehr ins Wanken und mußte schließlich ganz aufgegeben werden, um so mehr als es weiterhin gelang, selbst Fette und Kohlehydrate synthetisch aufzubauen, und Emil Fischer den künstlichen Aufbau der Polypeptide, die zwar nicht identisch aber doch nahe verwandt den natürlichen Eiweißstoffen sind, lehrte.

Allen diesen organischen Substanzen ist aber gemeinsam, daß sie Kohlenstoffverbindungen sind, wenn auch zugegeben werden muß, daß von einer gewissen Art von Kohlenstoffverbindungen, auch als von anorganischen Körpern gesprochen werden kann. In der neueren Chemie hat man sich aber um derartige Fragen nicht viel gekümmert, sondern faßt die Kohlenstoffverbindungen ganz allgemein als organische Substanzen auf, und wir haben es in ihnen somit heutzutage mit chemisch scharf gekennzeichneten Körpern zu tun.

Sehen wir aber ganz vom reinen Kohlenstoff in Gestalt des Diamanten oder des Graphits, von der Kohle, den gasförmigen Kohlenwasserstoffen, dem Kohlenoxyd, dem Cyan und gewissen sonstigen kohlenstoffhaltigen Körpern ab, die wir trotz ihrer minerogenen Natur als „organisch“ betrachten können, nämlich als zur geologischen Gestaltung gelangte Umwandlungsprodukte einstmals organisierter Substanz, so wird uns diese Auffassung schon etwas schwieriger für die Kohlensäure und Karbonate, von denen ein gewisser Teil in der Natur sicherlich rein anorganischer Herkunft ist. So sei z. B. an das Kohlendioxyd bei den vulkanischen Exhalationen und in thermalen wie sonstigen Quellen und in den damit zusammenhängenden Bildungen gedacht bezw. unsere

Aufmerksamkeit auf die durch den Verwitterungsvorgang gebildeten Karbonate gelenkt. Aber dennoch besteht zwischen diesen und jenen Kohlenstoffverbindungen für uns ein greifbarer Unterschied, der dahin geht, daß alle Kohlenstoffverbindungen — wenn wir so sagen dürfen — organischer Art noch einer höheren Oxydationsstufe fähig sind, also verbrannt werden können, während dies von dem Kohlendioxyd und den Karbonaten nicht behauptet werden kann oder noch möglich ist.

Dieser Unterschied, der m. W. zuerst und mit Recht von Adolf Mayer hervorgehoben wurde, ist aber von prinzipieller und fundamentaler Bedeutung in physiologischer Hinsicht. Denn der Vorgang der Pflanzensubstanzerzeugung ist, wie wir alsbald erkennen werden, ein Reduktionsprozeß, d. h. hochoxydierte kohlenstoffhaltige Substanzen erleiden durch ihn eine Überführung in sauerstoffärmere Verbindungen. Aber gerade die „anorganische" Kohlensäure liefert bei der Ernährung der Pflanze das Material zum Aufbau der organischen Substanzen. Demgegenüber stellt sich die Ernährung des Tierkörpers als ein Oxydationsvorgang dar, und die Kohlensäure ist ihr Endprodukt. Die sozusagen „anorganischen" Kohlenstoffverbindungen oder Quellen vermag das Tier aber aus dem Grunde nicht zu verwerten, weil sie nicht mehr höher oxydationsfähig sind. Für den Tierkörper kommen also infolge dieses Vermögens nur die organischen Kohlenstoffverbindungen in Betracht. Dies ist zwar die Regel, aber es gibt auch Ausnahmen, so z. B. bei der Symbiose von Algen und Würmern und Quallen, bei Raupen und deren Puppen, wo die Kohlensäureaufnahme zu organischer Substanzbildung unter Abscheidung von Sauerstoff stattfindet. Es zeigt dies aber, daß auch hier, wie so oft in der Natur, keine ganz scharfen Grenzen gezogen sind.

Wir erkennen demnach, abgesehen von den soeben erwähnten Ausnahmen und andererseits abstrahiert von der bekannten Tatsache, daß ja auch die Pflanze einen Atmungsprozeß analog dem des Tieres unterhält, einen markanten Unterschied im Vorgang der pflanzlichen und tierischen Ernährung in Bezug auf die zu verarbeitenden Kohlenstoffquellen.

Nun handelt es sich aber in all den vielen organischen Substanzen, die wir als Bestandteile des pflanzlichen und tierischen Körpers noch kennen lernen werden, nicht um Verbindungen des Kohlenstoffs mit Sauerstoff allein, sondern es muß mindestens noch ein anderes Element hinzutreten bezw. am Aufbau beteiligt sein. Dieses Element ist der Wasserstoff. Es leuchtet daher ohne weiteres ein, daß unter solchen Umständen das Kohlendioxyd nicht die alleinige Rohstoffquelle zur Erzeugung der organischen Substanz sein kann. Es muß auch noch für den Wasserstoff der Kohlenstoffverbindungen des Pflanzenkörpers eine Rohstoffquelle existieren und sie ist in einer gleichfalls hochoxydierten

Form des Wasserstoffs gegeben, die wie die Kohlensäure in reichlichem Maße in der Natur verbreitet ist, nämlich im Wasser.

Die beiden hochoxydierten Körper CO_2 und H_2O sind es also, die durch einen besonderen Vorgang zu den im Pflanzenkörper an Sauerstoff relativ ärmeren Verbindungen zusammentreten und das bilden, was wir organische Substanz nennen. Wohlgemerkt, es handelt sich demnach um die Entstehung von Körpern, die weniger Sauerstoff als das Ausgangsmaterial enthalten, also um einen Reduktionsvorgang. Wir können diesen Umwandlungsverlauf einfachster Art, der grundlegend für alle hierher gehörigen Prozesse ist, mit Adolf Mayer durch folgendes allgemeine Schema zum Ausdruck bringen:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_x H_{2y} O_{2x+y-z} + zO.$$

In dieser Gleichung sind x, y und z für uns zunächst noch von völlig unbestimmter Größe, aber es geht aus der Formel die wichtige Tatsache hervor, daß bei dem Zusammentritt von Wasser und Kohlensäure ein Stoff frei wird, nämlich Sauerstoff.

Wie dieser hochwichtige Vorgang nun aber zustande kommt, das werden wir erst später erfahren. Nur sei schon jetzt verraten, daß sich die Pflanzensubstanzerzeugung in der chlorophyllführenden Zelle unter der Mitwirkung des Sonnenlichtes vollzieht, und wir erkennen hieraus zugleich, warum es so zweckmäßig erschien, von einer Ernährung der chlorophyllhaltigen und der chlorophyllfreien Organismen zu sprechen. Jedoch bevor wir auf die noch nicht erörterten Eigentümlichkeiten des Tierernährungsprozesses kurz eingehen, wollen wir das bisher Erkannte wie folgt zusammenfassen:

Der Ernährungsprozeß der Pflanze ist lediglich ein Vorgang der Erzeugung von organischer Substanz, er ist ein Vorgang der Reduktion, insofern die hochoxydierten Verbindungen des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, wie sie im Kohlendioxyd und Wasser vorliegen, zu weniger oxydierten Kohlenwasserstoffverbindungen unter Austritt von Sauerstoff überführt werden. Es handelt sich mithin um einen Aufbau von Substanz.

Demgegenüber muß vorgreifend betont werden, daß im Lebensprozeß des tierischen Organismus eine auf Abbau begründete Neubildung von Stoffen stattfindet und sich dieselbe unter Vermittlung von Sauerstoff vollzieht. Mit diesem Vorgang ist aber zudem noch eine Kraftleistung verbunden, so daß wir es hier mit einem wesentlich andersartigen Vorgang, nämlich mit einem Oxydationsvorgang, zu tun haben. Sein Endprodukt ist die Kohlensäure, sie liefert zugleich den Ausgangspunkt für die Ernährung der Pflanze, so daß wir auf diese Weise in Bezug auf den Kohlenstoff von einem Kreislauf desselben in der Natur sprechen können.

Gehen wir einen Augenblick auf die wirtschaftliche Bedeutung des gesamten Vorganges der Pflanzen- und Tierernährung ein, welches Verhältnis uns aus leicht begreiflichen Gründen besonders wichtig erscheinen muß, so erkennen wir den wirtschaftlichen Nutzeffekt der grünen Gewächse ohne weiteres. Denn die von der Pflanze erzeugte neue Substanz oder organische Substanz ist aus anorganischen, d. h. der menschlichen und tierischen Ernährung an und für sich nicht zugänglichen Stoffen hervorgegangen. Die organische Substanz ist aber im Gegensatz zum Ausgangsmaterial von so wesentlich günstiger Beschaffenheit für die Ernährung, daß der Vorteil unmittelbar vor Augen tritt. Was nun aber die Tätigkeit der anderen Organismengruppe in dieser Beziehung anbelangt, so ist ihr Nutzeffekt nicht von derartig fundamentaler Bedeutung und beruht derselbe nur darauf, daß den durch den tierischen Organismus erzeugten organischen Substanzen ein im Verhältnis zu den aus der ersten Gruppe entstammenden Produkten, mit denen das Tier gefüttert wird, ein höherer wirtschaftlicher Wert zukommt, was aber nach den obwaltenden Verhältnissen auch gar nicht anders zu erwarten ist. Damit ist es aber erklärlich, daß sich diese letztere Tätigkeit nur dann als wirtschaftlich wertvoll zu erweisen vermag, wenn sie imstande ist, größere Quantitäten von den besagten Stoffen zu liefern. Da nun ferner noch in Betracht zu ziehen ist, daß bei einem jeden Lebensvorgang, der mit Leistungen verbunden ist, zu diesem Zwecke eine beträchtliche Zerstörung von Substanz — auch bei der Pflanze — geschehen muß, wobei sogar ein Teil der organischen Stoffe wieder in ihre anorganischen Grundstoffe zurückgeführt wird, so erscheint es uns sicherlich als selbstverständlich, daß die durch Umbildung hervorgegangene organische Substanz einen höheren wirtschaftlichen Wert beanspruchen kann, als das Rohmaterial, das den betreffenden Organismus zu ernähren hat.

Jedoch es tritt nun noch etwas hinzu, was wir bisher ganz außer acht gelassen haben. Die Stoffumwandlung im tierischen Organismus ist nicht der einzige Nutzeffekt, der dem Tier zukommt. Wir brauchen uns ja nur zu vergegenwärtigen, daß der Landwirt außer Schlachttieren auch noch Arbeitstiere hält, um dieses einzusehen. Ja, diese Arbeitsleistung kann unter Umständen sogar zum einzigen Zweck der Tierhaltung werden.

Somit können wir den Unterschied beider Organismengruppen noch schärfer und in Bezug auf den Nutzeffekt noch deutlicher kennzeichnen, wenn wir alles zusammenfassend sagen:

Die Pflanze produziert organische Substanz und häuft damit zugleich chemische Energiewerte (Kräfte) auf. Diese bezieht sie, wie wir alsbald vernehmen werden, von der Energiespenderin Sonne. Das Tier — wie auch die chlorophyllfreie Pflanze — wandelt

die organische Substanz, die sie als Nahrung von der Pflanze entnommen hat, unter Freigabe von chemischen Energiewerten um, wobei Arbeitsleistung ausgelöst wird.

Das Organ, in dem die Arbeit des Tierkörpers geleistet wird, ist der Muskel, und man spricht daher auch, wie wohl allgemein bekannt ist, von Muskelarbeit. Ohne späteren Erörterungen vorgreifen zu wollen, sei darauf hingewiesen, daß tatsächlich im tierischen Organismus eine dauernde Verbrennung von organischer Substanz stattfindet, wie dies ja auch ohne weiteres aus dem fortwährenden Aufnehmen von Sauerstoff und Abgeben von Kohlensäure ersichtlich ist. Daß dem so ist, wird aber auch durch das Experiment bestätigt. Ein arbeitender Organismus scheidet nämlich mehr Kohlensäure bei gleichzeitig größerem Substanzverlust aus, als ein unter sonst gleichen Bedingungen im Ruhezustand befindlicher Organismus.

Aus rein didaktischen Gründen haben wir bisher das unterschiedliche Verhalten oder den Gegensatz im Lebens- und Ernährungsprozeß der beiden großen Organismengruppen, Pflanze und Tier, in den Vordergrund gestellt. In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse jedoch etwas anders, was unbedingt hervorgehoben werden muß. Es besteht im großen und ganzen nämlich ein weit innigerer Zusammenhang beider Stoffwechselvorgänge, und selbst in Hinsicht auf den Energiewechsel sind die Grenzen nicht so scharf gezogen, als nach dem Mitgeteilten zu vermuten wäre. Wir müssen daher auch noch diesen Verhältnissen etwas gerecht zu werden trachten.

Eine jede Materie enthält oder führt Kraft, und weil sie dies tut, erweist sie sich als Nahrung zu dienen geignet. Der größte Teil dieser Kraft wird zur Entfaltung der Lebenstätigkeit aufgebraucht und nur ein kleiner Teil wird während des Wachstums zu Ansatzzwecken benötigt oder leistet Ersatz für die verbrauchte Körpersubstanz. Es findet somit gewissermaßen im lebenden Wesen eine Umwandlung der chemischen Nahrungsenergie statt. Überhaupt sind es die Kräfte und ihre Äußerungen, die der Substanz Leben und Form verleihen. Wir können die Organismen mithin als Umformer der Energie betrachten.

Wie wir erfahren werden, tritt die Materie aus dem organisierten Körper in nichtorganisierter Form aus, gleiches geschieht nach dem Absterben des Organismus, insofern die Materie in die einzelnen anorganischen Bestandteile, also mineralisiert, zerlegt wird. Nun aber beginnt diese Materie wieder von neuem ihren ewigen Kreislauf, d. h. aus dem Anorganischen wird organische oder besser organisierte Substanz usw. Mit der Energie verhält es sich nicht viel anders, auch sie ist einem ewigen Kreislauf unterworfen. Als mechanische Arbeit oder Wärme verläßt sie den Körper, um dann wieder am Kreislauf teilnehmen zu können. Die diesen Kreislauf dauernd in Bewegung setzende und er-

haltende Kraft ist aber die Sonnenenergie. Die Pflanzen sind es aber, die diese Kraft auszunutzen vermögen. Sie legen die Energie in Form von organischer Substanz nieder und das Tier nimmt sie in dieser Gestalt in sich auf und formt sie um.

Die nichtgrünen, chlorophyllfreien Organismen setzen also zur Erhaltung und Entwicklung ihres Daseins die grünen Pflanzen unbedingt voraus, da nur diese imstande sind, die Sonnenenergie in den Kreislauf einzubeziehen. Leichtverständlicherweise hat man nun aber auf die sich im Pflanzenkörper abspielenden Vorgänge des Aufbaus, der Synthese, aus den einfachsten Materialien, wie es Kohlendioxyd, Wasser und Mineralstoffe sind, ganz besonderes Gewicht gelegt, so daß der Bedeutung dieses Vorganges gegenüber die sich gleichfalls in der Pflanze wegen des Energiegewinnes vollziehenden Prozesse der Atmung in den Hintergrund treten mußten. Beim Tier dagegen hat man nur den Abbau der Nahrungsstoffe mit seinen Kraftleistungen gesehen, und so erklärt sich die scharfe Trennung und Gegenüberstellung beider Lebens- und Ernährungsvorgänge, die bei näherer Einsicht an Gegensätzlichkeit viel verlieren.

Wir haben schon einmal darauf hingewiesen, daß die Materie aus dem organisierten Körper oder auch nach seinem Tode in nicht organisierter Form den Kreislauf des Stoffs wieder aufnimmt, aber unmittelbar vermögen die höheren Pflanzen diese Materie auch nicht zu verwerten. Abermals muß die Substanz infolgedessen umgeformt werden, um für die Aufnahme in den Pflanzenkörper geeignet zu sein. Diesmal sind es die Bakterien, Schimmelpilze und dergl. niedere Organismen, die eine solche Umwandlung bewerkstelligen, denn Gärung, Fäulnis, Verwesung, ausgelöst durch die Tätigkeit besagter Kleinlebewelt, sorgen für den Mineralisierungsvorgang, indem Kohlensäure, Wasser und Mineralstoffe bereit gestellt werden. Erst hierdurch schließt sich der Kreis.

Wie wir aber den bisherigen Erörterungen über unseren Gegenstand leicht entnehmen können, muß die Nahrung an die Arbeitsleistung des betreffenden Organismus oder Zelle angepaßt sein, damit es zu der Aufnahme dieser Nahrung kommen kann. Nun haben sich aber bekanntlich im Lauf der Zeiten die Zellen der Organismen sehr verschiedenartig ausgebildet, und wir dürfen mit Abderhalden den ganzen scheinbar so großen Unterschied zwischen Pflanze und Tier nur in dem Unvermögen, ein und dieselbe Nahrung als Folge der Zelldifferentation aufnehmen zu können, erblicken.

Die Entwicklungsgeschichte der Pflanzen und Tiere hat es bekanntermaßen dargetan, daß sich die beiden großen Reiche aus ein und demselben Stamme als Zweige desselben entwickelt haben. Die großen Verschiedenheiten, die uns in der Formentwicklung der höheren Vertreter beider Reiche entgegentreten, sind aber auf die Art der Nahrungs-

aufnahme und des Energiegewinns zurückzuführen. Besonders ist es die Ausbildung der möglichst großen äußeren Oberfläche bei den Pflanzen, beim Tier dagegen der Ausbau der großen Innenfläche, die schon ganz allgemein das besagte Verhältnis deutlich in Erscheinung treten lassen. Die verschiedenartige Organisation hat dann selbstverständlicherweise wieder einschneidende Unterschiede im Stoffwechsel nach sich gezogen, worauf wir aber an dieser Stelle nicht näher eingehen wollen. Trotzdem hat aber der Stoffwechsel beider Reiche, wenn wir ihn ganz allgemein betrachten, noch vieles Gemeinsame von seiner Abstammung her bewahrt.

2. Die Stoffbestandteile der Pflanze im allgemeinen

Wer die Ernährung und Nahrung der Pflanze kennen lernen will, der muß sich zunächst darüber klar werden, aus welchen Substanzen die Pflanze zusammengesetzt ist. Nur ausgehend von der Kenntnis der Pflanzenzusammensetzung ist es uns möglich, das Verständnis für die zumeist recht verwickelten Vorgänge der Entstehung und Umwandlung dieser Substanzen im Pflanzenkörper zu erlangen, denn nur das Vorhandene kann uns in diesem Fall den Werdegang der Erscheinungswelt erschließen.

Betrachten wir Pflanze und Tier in besagter Beziehung ganz im allgemeinen, so fällt uns das gegensätzliche Verhalten beider Reiche unmittelbar auf, insofern als wir einerseits, nämlich bei der Pflanze, die bevorzugte Beteiligung der Kohlehydrate, andererseits, beim Tier, die Vorherrschaft der Eiweißstoffe als besonders kennzeichnend wahrnehmen, wenn damit auch nicht zum Ausdruck gebracht sein soll, daß die besagten Unterschiede vorwiegend der Quantität nach bestehen. Jedenfalls dürfen wir aber sagen, daß die Kohlehydratnatur der organischen Pflanzensubstanz derselben ihr Gepräge verleiht, während der Tierkörper seine stoffliche Eigenart durch die Proteinsubstanzen erhält. Wir erkennen also in der Anteilnahme des Stickstoffs am Stoffwechsel und seiner Produkte eine besondere Stellungnahme, die nicht nur in vielen naturgesetzlichen Erscheinungen, sondern auch in wirtschaftlicher Hinsicht von Bedeutung ist und zum Ausdruck kommt.

Jedoch wir wollen uns um dieses Verhältnis zuvörderst gar nicht kümmern, sondern wollen vielmehr bemüht sein, uns auf die denkbar einfachste Weise einen Überblick über die hauptsächlichsten Stoffgruppen, die an der Zusammensetzung der Pflanzenmasse beteiligt sind, zu verschaffen.

Eine frisch gepflückte Pflanze sind wir imstande, sowohl zu verbiegen als auch zu zerdrücken, ja wir können sie sogar zerpflücken, oder mit dem Messer zerschneiden, jedenfalls in sehr kleine Teilchen zerlegen,

ohne daß die Pflanzensubstanz durch alle diese Maßnahmen außer der Formveränderung eine substanzielle Umwandlung erfährt. Aber dennoch werden wir u. U. bei der Ausführung gedachter Maßnahmen belehrt worden sein, daß die Pflanzenmasse etwas abzugeben vermag, das auf uns das Gefühl der Feuchtigkeit oder u. U. eines klebrigen Zustandes an Fingern und Hand hervorruft. Eine Flüssigkeit von sehr wechselnder Beschaffenheit, die wir bei der Betrachtung der Pflanze als Ganzes nicht wahrzunehmen vermochten, ist ausgetreten bezw. abgeschieden worden. Gleichzeitig ist aber auch eine Verminderung des Gewichtes erfolgt, wovon wir uns leicht hätten überzeugen können, wenn wir die Pflanzenmasse vor und nach der Behandlung einer Wägung unterzogen haben würden. Wir müssen jedenfalls aus diesen Beobachtungen den Schluß ziehen, daß die Pflanze außer der „festen Masse“ noch eine flüssige Substanz in ihrem Körper enthält, und daß diese Flüssigkeit zur Hauptsache, nämlich abgesehen von dem gelösten, oftmals klebrigen Inhalt, nichts anderes als Wasser ist. Auf dem Wege der sogen. Trockensubstanzbestimmung würden wir die gleiche Tatsache, nur mit dem Unterschiede einer genaueren Fixierung des Substanzverlustes, ermittelt haben, nämlich 70—80 Gewichtsteile von je 100 Gewichtsteilen Ausgangsmaterial hätten wir als in Verlust gelangt festzustellen vermocht. Da aber bei dieser Operation (Trockensubstanzbestimmung) nichts anderes als nur Wasser verloren gehen kann, bezw. verflüchtigt wird, denn selbst die die Klebrigkeit erzeugende Masse kann durch diesen Vorgang nicht ausgetrieben werden, so erkennen wir, daß der größte Anteil der Pflanzensubstanz aus Wasser besteht.

Bei der Trockensubstanzbestimmung darf die Temperatur von 105° C aber nicht überschritten werden, weil über 105° nicht nur Feuchtigkeit bezw. Wasser aus der Pflanzenmasse heraustritt, sondern auch schon eine Verbrennung, oder besser gesagt, eine trockene Destillation der organischen Substanz beginnt. Es tritt Bräunung bezw. Schwärzung, das ist Verkohlung der Pflanzenmasse ein, und bei längerer Einwirkungsdauer besagter hoher Temperatur verschwindet sogar die meiste Substanz, und es bleibt ein weißlichgrauer Rest übrig. Mit anderen Worten, wir haben die organische Pflanzensubstanz verbrannt und als Produkt dieses Vorganges haben wir Pflanzenasche erhalten. Damit sind wir aber zu einer wesentlichen Bereicherung unserer Kenntnis von der Pflanzensubstanzzusammensetzung gelangt, denn wir haben erfahren, daß die Pflanzensubstanz durch die Verbrennung in zwei wesentlich verschiedene Körperklassen zerlegt werden kann, nämlich in die verbrennbaren und die unverbrennbaren Substanzen, d. h. Verbindungen, die noch höher oxydierbar sind und solche, die nicht weiter oxydiert werden können. Die verschwundene, verbrannte, grüne Pflanzen-

masse ist aber dasjenige, was wir als organische Substanz zu bezeichnen pflegen, denn sie ist derjenige Teil des Pflanzenkörpers, der durch die organische, assimilierende Tätigkeit der Pflanze aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff aufgebaut wird.

Die oberflächlichste Beobachtung und das einfache Experiment der Trocknung und Verbrennung der Pflanze haben uns also den Fundamentalsatz der Lehre von der stofflichen Zusammensetzung des Pflanzenkörpers unzweideutig dargetan, indem sie uns zu der Kenntnis geführt haben, daß Wasser, organische oder verbrennbare Substanz und Asche die drei wesentlichsten Stoffgruppen der Pflanzensubstanz darstellen.

Jedoch allein mit dieser Feststellung, so wichtig sie auch an und für sich ist, vermögen wir nicht viel anzufangen. Erst dann, wenn wir näher in die chemische Beschaffenheit der sogen. organischen Substanz und der Asche eingedrungen sind, wird uns obige Kenntnis von Wert sein.

Von einer näheren Betrachtung des Wassers können wir absehen, da es ja allgemein bekannt sein dürfte, daß es in Gestalt von Pflanzen- oder Zellsaft die Zellen, wie überhaupt alle organischen Pflanzenkörper erfüllt und durchtränkt, und zwar mehr oder weniger mit gelösten oder feinverteilten Stoffen aller Art beladen. Seine chemischen Elementarbestandteile sind Wasserstoff und Sauerstoff, was gleichfalls als bekannt vorausgesetzt werden darf. Dagegen die Bedeutung des Wassers für den Lebens- und Ernährungshaushalt der Zelle bezw. der ganzen Pflanze werden wir erst später würdigen können.

Wie schon oben angedeutet, besteht vom chemischen Gesichtspunkt aus die organische Substanz gleichfalls aus Wasserstoff und Sauerstoff, wozu sich aber noch vor allen Dingen der Kohlenstoff als charakteristischer Hauptbestandteil gesellt. Ferner vermögen der Stickstoff und oftmals auch noch andere Elemente hinzuzutreten. Jedoch die drei erstgenannten Elemente müssen unbedingt zugegen sein, um von einer organischen Substanz reden zu können. Sie sind nun aber nicht etwa als solche in der organischen Substanz vorhanden, sondern sie bilden Verbindungen miteinander, und zwar eine recht stattliche Anzahl, die wir als Derivate der Kohlenwasserstoffe aufzufassen haben. Die Vielgestaltigkeit dieser Verbindungen liegt nun darin begründet, daß ihre Struktur und Konstitution durch die verschiedene Art der Verkettung der Atome im Molekül bestimmt wird. Dieses ist aber dem Umstande zuzuschreiben, daß das Kohlenstoffatom infolge seiner Vierwertigkeit in geradezu hervorragender Weise die Befähigung besitzt, sich mit seinesgleichen wie auch anderen Grundstoffen zu größeren Einheiten oder Komplexen zu vereinigen. Um sich dies überaus wichtige Verhalten klar vor Augen zu führen, bedarf es nur eines kurzen Rückblickes auf die diesen Gegenstand behandelnden Grundlehren der reinen

Chemie. So sehen wir die Kohlenstoffatome in den Verbindungen der Fettreihe, den aliphatischen Körpern, kettenförmig verbunden, oder ringförmig zu den zyklischen Verbindungen angeordnet, die man dann als isozyklische bezeichnet, wenn sich nur Kohlenstoffatome im Ringe befinden, und sie heterozyklische heißt, wenn ein oder mehrere Kohlenstoffatome des Ringes durch ein anderes Atom, wie z. B. Stickstoff oder Schwefel Ersatz gefunden haben. Diesen vielfachen Verkettungsmöglichkeiten des Kohlenstoffs ist es aber zuzuschreiben, daß es mehrere Verbindungen gleicher empirischer Zusammensetzung, aber verschiedener Struktur gibt. Je mehr Kohlenstoffatome aber vorhanden sind, um so mehr strukturisomere Körper sind möglich. Aber nicht nur in Hinsicht auf die Konstitution, sondern auch in Bezug auf die Molekulargröße unterscheiden sich die Kohlenstoffverbindungen. Die homologen Reihen veranschaulichen uns dieses bekanntermaßen. Ferner verhalten sich eine große Anzahl sonst gleicher Kohlenstoffverbindungen in ihren Lösungen dem polarisierten Licht gegenüber abweichend voneinander und ähnliches ist ihnen durch eine charakteristische räumliche Gegensätzlichkeit in ihrer Kristallausbildung wie auch im biochemischen Verhalten eigentümlich. Es braucht nur an die Weinsäure, Milchsäure oder dergl. Substanzen erinnert zu werden, um damit die Erscheinung der Stereoisomerie, die sich an die Asymmetrie des Kohlenstoffatoms knüpft, zu vergegenwärtigen, ganz abgesehen von der merkwürdigen Desmotropie, bei welcher sogar die Wandlungs- bezw. Umlagerungsfähigkeit des Atoms in Frage kommt. Letzten Endes ist noch der verschiedenartigen Bindungsmöglichkeiten der Kohlenstoffatome untereinander zu gedenken, deren Ausdruck das Auftreten von gesättigten und ungesättigten Kohlenstoffverbindungen ist.

Vergegenwärtigen wir uns diese Verhältnisse, so kann es uns nicht verwundern, daß trotz der Anteilnahme von einer, nur so beschränkten Anzahl von Grundstoffen doch eine so ungeheure Menge von verschiedenartigen organischen Stoffen in ihrer Existenz und ihrem Vorkommen möglich ist. Um jedoch eine zahlenmäßige Vorstellung von der elementaren Zusammensetzung der Pflanzentrockensubstanz zu erhalten, sei mitgeteilt, daß etwa 45 % C, 42 % O, 6,5 % H, 1,5 % N und 5 % Asche in ihr vorhanden sind. Hierbei ist aber als selbstverständlich zu berücksichtigen, daß die einzelnen Werte für die verschiedenen Pflanzen erheblich von diesen Mittelzahlen nach beiden Seiten hin abweichen können. Als Trockensubstanz haben wir, wie dies schon aus früheren Mitteilungen hervorgehen dürfte, die von Wasser befreite, d. h. bei 105° C getrocknete Pflanzensubstanz zu verstehen, was insofern der besonderen Beachtung wert ist, als alle bei exakten Pflanzenproduktionsversuchen erzielten Ernten nur auf diese Größe gebracht und zum Vergleich gestellt werden sollten.

Werfen wir nun aber auch noch einen flüchtigen Blick auf die Pflanzenasche, also den Restbestandteil nach dem Verbrennungsprozeß! Sie setzt sich, wie uns die chemische Analyse lehrt, zur Hauptsache aus den Elementen Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Aluminium, Silizium, Phosphor, Schwefel und Chlor zusammen, aber im Grunde können fast alle Elemente, wenn auch zum Teil nur in winzigen Spuren in ihr vorhanden sein. Jedoch was die Hauptsache ist, sie sind nicht etwa als Grundstoffe zugegen, sondern liegen als Verbindungen vor. Zwar ist dieses Verbindungsvermögen nicht so unbegrenzt als es uns in der organischen Substanz entgegengetreten ist, aber immerhin ist auch hier eine große Mannigfaltigkeit in der Bindungsmöglichkeit der Elemente vorhanden. So können das Fe, Al und Si als Oyxde, die Alkalien und Erdalkalien als Karbonate bevorzugt vorhanden sein, oder die Metallelemente können auch mit dem Si, P, S und Cl in der Form von Silikaten, Phosphaten, Sulfaten und Chloriden zusammengetreten sein. Jedenfalls, und das ist das Wichtigste für uns, liegen sie aber sämtlich in einer anderen Form vor, als sie in der Pflanze in Bindung waren, denn wir dürfen nicht vergessen, daß die Asche mit ihrem Inhalt ein Produkt der nachträglich stattgefundenen Verbrennung (Oxydation) ist. Der Verbrennungsvorgang hat sie in kürzester Zeit mineralisiert. In der Pflanze waren sie mehr oder weniger mit organischen Säuren oder in engem Verband mit anderen organischen Körpern verbunden, und zwar zum geringsten Teil als organische Salze vorhanden. Die organischen Säuren wie die sonstigen organischen Substanzen wurden aber bei der Verbrennung zerstört, und wurden dabei in CO_2 und H_2O überführt, von denen sich die erstere mit den Metallionen zu Karbonaten verbindet, da die Metallelemente durch den Verbrennungsvorgang oxydiert und als Stoffe von nicht flüchtiger Natur die gebildete Kohlensäure zu binden trachten, soweit nicht auch die gleichfalls aus dem Phosphor und Schwefel bei dem gleichen Vorgang entstandenen Säuren mit ihnen zu Salzen zusammentreten. Jedoch bei der gleichzeitigen Beteiligung von Kohlenstoffverbindungen am Verbrennungsvorgang und der nicht immer vollkommenen Verbrennung der organischen Substanz bezw. bei der Wechselwirkung der einzelnen Aschenbestandteile aufeinander können auch zeitweise Reduktionsvogänge, die zu Siliciden, Sulfiden und dergl. Produkten führen, eingeleitet werden. Andererseits wird auch der Schwefel zum Teil zu SO_2 verbrannt und geht in Gasform gleich dem C, H, O, und N der Asche verloren. Wir ersehen aus diesen den Verlauf der Verbrennung nur kurz andeutenden Angaben, wie verschiedenartig das Restprodukt Asche in seiner Zusammensetzung ausfallen kann.

Damit wollen wir die Kennzeichnung der drei den Pflanzenkörper aufbauenden Substanzgruppen, Wasser, verbrennbare organische

Substanz und Asche, verlassen, indem wir nochmals darauf hinweisen, daß das Wasser der Quantität nach stark vorherrscht, aber daß auch die Aschenmenge nicht unbeträchtlich anzusteigen vermag, wie dies die Analysen gewisser Pflanzen deutlich wiedergeben. Ihrer physiologischen Bedeutung nach sind jedoch alle drei Stoffgruppen von gleich unersetzlichem Wert.

Wollen wir nun aber, wie dies für unsere Zwecke notwendig ist, tiefer in die chemische Natur der Pflanzensubstanz eindringen, so müssen wir mit geeigneten Lösungsmitteln der Pflanze beizukommen trachten. Allerdings mit schärferen Agentien, wie z. B. Säuren, ist hier zumeist wenig anzufangen, denn unter ihrem Einfluß greifen wir die gesamte Substanz viel zu stark an, so daß zur eingehenderen Untersuchung und Erkennung nicht viel mehr übrigbleibt. Aber von jeher hat man durch Behandlung mit weniger energisch angreifenden Lösungsmitteln eine weitergehende Zerlegung herbeigeführt, und zwar erweisen sich in genannter Richtung gewisse organische Substanzen, wie z. B. Äther, Benzin, Alkohol, Azeton u. dergl. besonders geeignet. Das, was diese Substanzen aus der Pflanzenmasse zu entziehen erlauben, nennt man sogen. Extraktstoffe, und zwar ätherlösliche Extraktstoffe, wenn Äther, was wohl in vielen Fällen bevorzugt wird, Benutzung findet. Solche wie die ätherlöslichen Extraktstoffe stehen im Gegensatz zu anderen Stoffen, die in einem derartigen Lösungsmittel nicht löslich sind, aber wohl gemerkt, es handelt sich in ihnen nicht etwa um chemische Individuen, sondern nur um Stoffgruppen wechselnder Zusammensetzung. Trotzdem haben solche Fraktionen für uns besondere und zwar zweierlei Bedeutung. Einmal sind sie uns wertvoll, weil wir mit ihrer Hilfe auf einfachste Art imstande sind, den substanziellen Aufbau des Pflanzenkörpers darzulegen, das andere Mal, weil sie uns bei verhältnismäßig leichter Bestimmung völlig genügenden Aufschluß über die vorhandenen Mengen gewisser wichtiger Nahrungsbausteine, so z. B. für die Zwecke der praktischen Futtermittelanalyse, geben. Im Ätherextrakt sind u. a. außer den Fetten, um deren Willen wir uns in der Futtermittelanalyse des Ätherauszuges bedienen, der Blattfarbstoff Chlorophyll sowie eine Reihe von Substanzen, als deren Hauptvertreter Lezithin und Cholesterin zu gelten haben, löslich. Wir werden diese Körper entsprechend ihrer Wichtigkeit für die Ernährungslehre der Reihe nach an geeigneter Stelle näher besprechen. Daß wir aber mit Hilfe der einfachen chemischen Futtermittelanalyse auch imstande sind, dem Pflanzenkörper noch weitere Stoffgruppen zu entziehen, das werden uns die späteren Darlegungen zeigen. Allerdings gilt auch für sie wie für die ätherlöslichen Extraktstoffe insofern dasselbe, als wir es in ihnen gleichfalls mit keinen chemisch einheitlichen Körpern zu tun haben.

Teil I

A. Die chemische Zusammensetzung der Pflanzensubstanz im besonderen

Zweifelsohne kann man die Darstellung, die den chemischen Verhältnissen der Zusammensetzung der Pflanzensubstanz gewidmet sein soll, von recht verschiedenen Gesichtspunkten aus vornehmen. Im allgemeinen schreitet man wohl von den chemisch einfachsten Körpern zu komplizierter aufgebauten Substanzen vor. Es ist dies ein Weg, der sicherlich viel für sich hat, namentlich dort, wo es gilt, dem in der chemischen Wissenschaft wenig Bewanderten das Verständnis für die vorliegenden Fragen zu übermitteln. Trotzdem beabsichtigen wir nicht, diesen Weg zu beschreiten, denn einmal setzen wir für den, der sich mit der Agrikulturchemie zu beschäftigen sucht, als Mindestmaß seiner Kenntnisse in den Naturwissenschaften die Grundlagen der chemischen Wissenschaft, sowohl was die Zusammensetzung als die Entstehung der chemischen Körperwelt anbelangt, voraus. Andererseits möchten wir auch den bisher von uns mit gutem Erfolg eingeschlagenen Weg zur Erkenntnis der Zusammensetzung der Pflanzensubstanz zu kommen, nicht verlassen, und drittens scheint es uns für einen Lehrgang der Pflanzenernährung besonders wertvoll, die physiologisch besonders wichtigen Körper an erster Stelle zu behandeln, um damit von vornherein die diesen Substanzen in gedachter Hinsicht zukommende Bedeutung unzweideutig zum Ausdruck zu bringen. Allerdings werden wir bei der Behandlung der Fette, wie auch sonst noch Ausnahmen zu machen haben, und zwar geschieht dies aus dem Grunde, weil wir einmal, den Weg, auf dem uns die allgemeine chemische Futtermittelanalyse Führerin war, nicht verlassen möchten, und andermal, weil die chemischen Verwandtschaftsverhältnisse gewisser Körper eine ungetrennte Behandlung fordern.

Lassen wir uns von diesen Gesichtspunkten leiten, so fällt uns als erste Aufgabe die Besprechung des Blattgrüns oder Chlorophylls zu. Diese chemisch recht kompliziert aufgebaute Substanz ist für die Ernährung der autotrophen Pflanze unstreitig der physiologisch wichtigste Körper und, wie wir schon erfahren haben, eine im Äther-Extrakt lösliche, also in diesem befindliche Verbindung.

a) Das Chlorophyll

Der grundlegenden Bedeutung des Chlorophylls für die Kohlenstoffassimilation werden wir später zu gedenken haben. An dieser Stelle sei nur auf das Wissenswerteste hinsichtlich seines Vorkommens, seiner chemischen Beschaffenheit und seines physikalischen Verhaltens aufmerksam gemacht.

Das Chlorophyll ist ein wesentlicher und nie fehlender Bestandteil der Zelle der grünen Pflanze, nämlich derjenigen Zellen, die dem Lichte ausgesetzt sind. Nur den Blüten und den meisten parasitär lebenden Pflanzen fehlt das Chlorophyll. Bei ungenügender Lichtzufuhr bildet sich dagegen in den Zellen ein als Etiolin benannter Stoff, der sich dem Chlorophyll als verwandt erweist und durch Lichtvermehrung darin überführt werden kann. Oft ist das Blattgrün, wie dieser Stoff gewöhnlich bezeichnet wird, durch die ganze Zelle gleichmäßig verteilt, noch häufiger beschränkt sich sein Auftreten auf schrauben- oder ringförmige Bänder, gewöhnlich durchzieht das Chlorophyll aber nur bestimmte Körper von rundlicher oder scheibenförmiger Gestalt, die deutlich vom flüssigen Teil des Protoplasmas getrennt sind. Es sind die sogen. Chlorophyllkörner, die nach Behandlung mit den uns bekannten Lösungsmitteln in farblose Protoplasmakörner übergehen und im Protoplasma unter Einwirkung des Lichtes zur Entstehung gelangen. Stärkere Lichtquellen vermögen das Chlorophyll zu zerstören, und beim herbstlichen Absterben der Blätter findet eine Auflösung der Körner statt, worauf die Lösung in die perennierenden Teile der Pflanze wandert, während das Xanthophyll, von dem alsbald die Rede sein wird, in Körnchen oder Tröpfchen im Blatt verbleibt. Diese wenigen Angaben über den Sitz und die allgemeinen Verhältnisse des Chlorophylls mögen für uns genügen, da es nicht unsere Aufgabe sein kann, morphologischen oder sonstigen, rein botanischen Fragen nachzugehen.

Was nun das chemische Studium des Chlorophylls anbelangt, so ist dasselbe von jeher durch mehrere Umstände sehr erschwert worden, und zwar hängt dieses ursächlich damit zusammen, daß die Menge des Chlorophylls in der Pflanze nur verhältnismäßig gering ist, so daß die für die Ermittelung der chemischen Zusammensetzung unerläßlichen Quantitäten nur langsam und auf kostspielige Weise beschafft werden konnten. Außerdem gehört das Chlorophyll zu den am leichtesten eine Veränderung erleidenden chemischen Verbindungen. Schon die bei der Isolierung des Chlorophylls aus der Pflanze notwendigen Operationen sowie der Einfluß der gleichzeitig bei diesem Vorgang abgetrennten Substanzen auf das Chlorophyll vermögen sich in besagter Richtung stark geltend zu machen, so daß die Reindarstellung unserer Substanz erst in jüngster Zeit geglückt ist.

Das, was man durch Äther, Alkohol oder dergl. der grünen Blattsubstanz entzieht, ist das sogen. „Rohchlorophyll". Es stellt eine fluoreszierende Lösung dar, die aber kein einheitlicher Körper ist, denn spektroskopische Prüfungen haben das Vorhandensein von zwei grünen und zwei gelben Farbstoffen in der Flüssigkeit dargelegt. Auch gelang es durch Ausschütteln mit geeigneten Lösungsmitteln eine gewisse, wenn auch nicht völlige Trennung dieser Farbstoffe herbeizuführen. Da wir nun selbstverständlicherweise nicht auf Einzelheiten bezüglich der Reindarstellung und Gewinnung des Chlorophylls eingehen können, so mag es genügen darauf hinzuweisen, daß es schließlich Willstätter mit Hilfe von Azeton gelungen ist, zum Ziel zu kommen. Seine Untersuchungen haben die Anwesenheit von vier Farbstoffen, von denen die gelben als Karotinoide, die grünen als Chlorophylle Bezeichnung finden, ergeben. Die gelben Begleitstoffe des Chlorophylls sind das Karotin und das schon erwähnte Xanthophyll. Ersterer Körper ist ein ungesättigter Kohlenwasserstoff von der empirischen Formel $C_{40}H_{56}$, dessen Konstitution noch nicht erkannt ist, aber den Terpenen nahestehen soll. Das Xanthophyll ist vermutlich sein Oxydationsprodukt von der Zusammensetzung $C_{40}H_{56}O_2$, in seinem Aufbau ist dasselbe gleichfalls noch unbekannt. Dank der Untersuchungen Richard Willstätters sind wir aber über die grünen Chlorophyllkomponenten, die eigentlichen Assimilationsvermittler, in dieser Hinsicht besser unterrichtet. Wir haben hier zu unterscheiden Chlorophyll a und Chlorophyll b, welche Körper durch die empirische Zusammensetzung $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ bezw. $C_{55}H_{70}O_5N_4Mg$ gekennzeichnet sind. Man erhält sie gemeinsam als ein mikrokristallines, bläulichschwarzes Pulver von fast metallischem Glanz. Im ganzen haben wir es also mit vier Chlorophyllkomponenten zu tun.

Außer Willstätter und Stoll haben sich eine ganze Reihe namhafter Forscher um die Erforschung des Chlorophylls bemüht, jedoch die epochemachendste Entdeckung auf dem ganzen Gebiet der Chemie des Chlorophylls erbrachte Richard Willstätter.

Es war eine längst bekannte Tatsache, daß die Pflanze zum Ergrünen unbedingt des Eisens bedarf, und man glaubte daher fast allgemein, daß das Eisen im Chlorophyll selbst enthalten sei. Zwar hatte schon Molisch auf die Unwahrscheinlichkeit dieser Annahme hingewiesen, aber erst Willstätter konnte den experimentellen Nachweis von der Anteilnahme eines ganz anderen Grundstoffs am Aufbau des Chlorophyllmoleküls liefern. Wie wir aus den oben mitgeteilten Bruttoformeln entnehmen können, ist es das Magnesium. Dieses ist in komplexer Bindung im Molekül vorhanden. Verbrennt man das Chlorophyll, so erhält man eine Asche von der Zusammensetzung der reinen Magnesia, und es liegt bei dem konstanten Gehalt des Chlorophylls an Mg der Vergleich mit

den im Laboratorium zu vielen Synthesen befähigten organischen Magnesiumverbindungen recht nahe, so daß die synthetische Funktion des Chlorophylls, von der wir ja noch eingehend zu berichten haben werden, der Gegenwart des organisch gebundenen Magnesiums zuzuschreiben ist.

Willstätter hat nun aber weiter erkannt, daß das Chlorophyll das sogen. Ätiophyllin zur Stammsubstanz hat. In diesem Körper ist das Magnesium an Stickstoff gebunden, indem es den Iminowasserstoff zweier Pyrrolkerne substituiert und vermutlich noch gleichzeitig mit den Stickstoffatomen von zwei weiteren pyrrolartigen Kernen durch Partialaffinitäten verknüpft ist. Das Chlorophyll selber stellt sich aber als ein Ester eines Phytol genannten aliphatischen ungesättigten Alkohols, des Methylalkohols und einer dreibasischen magnesiumhaltigen Säure dar. Die dreibasische Säure heißt Chlorophyllin und dem Chlorophyll kommt die Formel

$$C_{32}H_{30}ON_4Mg\begin{matrix}COO \cdot CH_3\\COO \cdot C_{20}H_{39}\end{matrix}$$

zu, denn die eine Carboxylgruppe der Säure ist mit dem Methylalkohol, CH_3OH, die andere mit dem Phytol, $C_{20}H_{39}OH$, verestert.

Während man früher der Ansicht zuneigte, daß eine sehr große Anzahl verschiedener Chlorophyllarten existiere, deuten aber die Willstätterschen Untersuchungen auf Einheitlichkeit des Blattfarbstoffs im Pflanzenreich hin. Sehr interessant und bemerkenswert erweist sich nun aber noch der Nachweis von der Anwesenheit eines Fermentes in den chlorophyllführenden Organen der Pflanze, dasselbe ist imstande, eine Aufspaltung des Chlorophylls zu bewirken. Was es für eine Bewandtnis mit den Fermenten hat, werden wir später an geeigneter Stelle noch eingehend zu erörtern haben. Hier sei für unseren Fall darauf hingewiesen, daß ein solches Ferment — Chlorophyllase genannt — die esterartige Bindung zwischen Carboxyl und Phytol löst. Dieser, einer Hydrolyse ähnliche Vorgang erfolgt in gleicher Weise wie die Verseifung der Fette durch das Ferment Lipase. Bei Einwirkung unseres Fermentes auf das Chlorophyll in alkoholischer Lösung lagert sich nach erfolgter Abspaltung des Phytols derjenige Alkohol, der jeweilig als Lösungsmittel dient, als Ersatz des Phytolrestes an. Es handelt sich um eine Alkoholyse, und die Produkte ihrer Neubildung heißen Chlorophyllide. Die nachfolgende Gleichung gewährt uns Einblick in den Verlauf einer derartigen Reaktion.

$$C_{32}H_{30}ON_4Mg\begin{matrix}COO \cdot CH_3\\COO \cdot C_{20}H_{39}\end{matrix} + C_2H_5 \cdot OH$$

$$= \underbrace{C_{32}H_{30}ON_4Mg\begin{matrix}COO \cdot CH_3\\COO \cdot C_2H_5\end{matrix}}_{\text{Äthylchlorophyllid}} + \underbrace{C_{20}H_{39} \cdot OH}_{\text{Phytol}}$$

Von sonstigen, unsere Beachtung verdienenden Reaktionen seien noch folgende kurz hervorgehoben, insofern dieselben die besonders wichtigen Beziehungen, die zwischen gewissen Verbindungen des Chlorophylls einerseits und des Blutes andererseits bestehen, erkennen lassen.

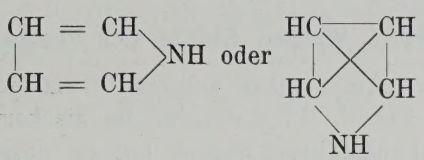
Läßt man z. B. Alkalien auf das Chlorophyll zur Einwirkung gelangen, so vollzieht sich ein der Verseifung von Fetten völlig analoger Vorgang, indem das Chlorophyll zu Phytol, Methylalkohol und Säurerest aufgespalten wird, wobei letzterer sich mit dem Alkali zu Alkalisalz saurer Verbindungen umsetzt. Aus diesen letzteren, den Chlorophyllinen, gehen durch Behandlung mit Säuren unter Ausscheidung von Mg neue Verbindungen mit der Bezeichnung Porphyrine hervor. Die Oxydation dieser führt zu den den Abbauprodukten des Hämatins verwandten Körpern, so daß wir in den Porphyrinen Verbindungen zu erblicken haben, die Blattfarbstoff und Blutfarbstoff miteinander als verwandt erkennen lassen. Aus der Struktur dieser Verbindungen läßt sich dieses wenigstens für gewisse Anteile des Chlorophylls mit dem Hämatin entnehmen. Aus diesen chemischen Verwandtschaftsverhältnissen darf man aber nicht, wie es wohl geschehen ist, auf funktionelle Gleichartigkeit beider Substanzen schließen. Andererseits sehen wir aber auch, daß Chlorophyll und die Wachsarten hinsichtlich ihres chemischen Aufbaus in naher Beziehung stehen, insofern es sich in letzteren auch um Esterverbindungen einwertiger Alkohole handelt. Man hat auch, worauf noch hinzuweisen wäre, geglaubt, daß Phosphorsäure an der Zusammensetzung des Chlorophylls beteiligt sei, was auf eine Zugehörigkeit des Chlorophylls zu den Lezithinen hindeuten würde. Es scheint aber, daß eine solche Auffassung der notwendigen Stütze entbehrt. Um jedoch nochmals auf die verwandtschaftlichen Beziehungen des Blatt- und Blutfarbstoffs zurückzukommen, müssen wir trotz der dargelegten Verhältnisse betonen, daß ausgebildetes Chlorophyll und ausgebildetes Hämatin doch wesentlich voneinander verschieden sind. Ganz besonders augenfällig erweist sich in dieser Richtung die Beteiligung des Magnesiums auf der einen, die des Eisens auf der anderen Seite. Denn wenn dem ersteren Elemente bei der Assimilation des Kohlenstoffs eine wichtige Rolle zugeschrieben werden muß, so kommt dem letzteren im Hämochromogen für die Sauerstoffbindung eine hervorragende Bedeutung zu, so daß wir mit Willstätter geradezu ein Leben der Synthese, vermittelt durch das Magnesium des Chlorophylls, und ein Leben des Abbaus, vermittelt durch das Eisen des Hämoglobins, unterscheiden dürfen.

Wenn wir uns somit eine gewisse Einsicht in die chemischen Verhältnisse des Chlorophylls verschafft haben, so bedarf es noch einiger Worte über die Ursachen der Wirksamkeit desselben, d. h. worauf es zurückzuführen ist, daß dem Chlorophyll die Fähigkeit innewohnt, den

schon so oft erwähnten Assimilationsvorgang zu vollziehen. Wollen wir auf diese Frage Antwort geben, so müssen wir auf die Eigenschaft des Chlorophylls, in Lösung Fluoreszenzwirkung auszuüben, zurückgreifen und darauf hinweisen, daß fluoreszierende Substanzen in der Lage sind, photodynamische Wirkungen zu vollbringen. Eine solche Fluoreszenz ist aber auch den Chloroplasten der lebenden Zelle als Sitz des Chlorophylls eigentümlich, und es wird angenommen, daß das Chlorophyll im Chloroplasten in einem lipoiden, lezithinartigen Lösungsmittel gelöst enthalten ist. Die Wirksamkeit des Chlorophyllfarbstoffes äußert sich physikalisch und chemisch, aber der physikalischen Wirkungsweise kommt der Hauptanteil zu, und zwar handelt es sich dabei um eine Umwandlung der Lichtenergie in chemische Kraft.

Dem Chlorophyll ist ein Spektrum charakteristisch, welches typische Absorptionsbänder aufweist, und zwar ist der zwischen den Linien B und C liegende Teil der wichtigste, weil dessen Lichstrahlen für die Arbeitsleistung bei der Assimilation ausgenutzt werden. Die langwelligen, chemisch wirksamen Strahlen werden in kurzwellige, chemisch wirksame Strahlen umgewandelt. Das ist ein Vorgang, der mit der Erhöhung der Empfindlichkeit photographischer Platten eine gewisse Ähnlichkeit besitzt, worauf oftmals hingewiesen worden ist, aber insofern doch etwas anders verläuft, als im Fall der photographischen Platten, „eine an sich lichtempfindliche Substanz noch lichtempfindlicher gemacht wird", während es sich in unserem Fall der Chlorophyllwirkung um die Umwandlung „der strahlenden Energie des Lichtes durch die fluoreszierenden Substanzen in eine andere Energieform" handelt (V. Grafe). Molisch hat dieses Verhältnis besonders zutreffend wie folgt gekennzeichnet: „Da im Chlorophyllmolekül jeder einfarbige absorptionsfähige Lichtstrahl von welcher Farbe auch immer die nämliche rote Fluoreszenzfarbe zwischen B und C hervorruft, und da gerade dieses Licht das assimilatorisch wirksamste ist, so wird das in die grüne Pflanze einstrahlende Licht in außerordentlich ökonomischer Weise ausgenutzt und als Vermittler dieser Lichtausnützung müssen Absorption und Fluoreszenz des Chlorophylls hingestellt werden. Das Chlorophyll kann geradezu als eine Fabrik von rotem Licht bezeichnet werden." Die Untersuchungen Hausmanns haben denn auch die photodynamischen Wirkungen der Chlorophyllösungen den energetisch-chemischen Wirkungen des Lichtes im Chloroplasten als sehr nahekommend dargetan. Der Chlorphyllfarbstoff fungiert demnach, um es nochmals hervorzuheben, als ein Überträger der Lichtenergie, oder gewissermaßen als ein „Energieumschalter", und es ist hierin das Vermögen seiner besonderen physiologischen Wirkungen zu suchen, die allerdings nur im lebenden Organismus zur Auslösung gelangen, denn Chlorophyllextrakte sind nicht imstande, den Assimilationsvorgang in die Wege zu leiten.

Bevor wir den in Rede stehenden Gegenstand verlassen, möchten wir noch des allgemeinen Interesses wegen auf folgenden Tatbestand kurz hinweisen. Wir haben im voraufgehenden erfahren, daß die Porphyrine Verbindungen sind, in denen sich Blatt- und Blutfarbstoff nähern. Ihre Ähnlichkeit bezieht sich nun aber nicht nur auf ihre elementare chemische Zusammensetzung, sondern es fällt gleichermaßen auf, daß die Absorptionsspektra des Phylloporphyrins und Hämatoporphyrins einander sehr ähnlich, wenn nicht fast identisch sind. Es geht also auch aus diesem Umstande, wie aus dem, daß man aus beiden Substanzen das Hämopyrrol erzeugen kann, ihre Verwandtschaft hervor. Das Pyrrol stellt also letzten Endes, indem es am Aufbau der Abkömmlinge des Blatt- und Blutfarbstoffes beteiligt ist, die Brücke zwischen beiden physiologisch so wichtigen Körpern des Pflanzen- und Tierreiches dar. Wir wollen nur noch erwähnen, daß im Hämatin und in den Porphyrinen wie auch im Ätiophyllin, wie dieses Willstätter und Max Fischer gezeigt haben, vier Pyrrolkerne miteinander vereinigt sind, um damit das Gesagte zu bekräftigen. Als Pyrrol bezeichnen wir aber bekanntlich einen heterozyklischen Körper, und zwar fünfgliedrigen Ring mit einem N- und vier C-Atomen, ähnlich dem Furfuran und Thiophen, in denen die NH-Gruppe des Pyrrols durch O bezw. S ersetzt ist. Dem Pyrrolkern kommt somit die nachstehende Konstitutionsformel zu:



Das Pyrrol entsteht gleichermaßen bei der trockenen Destillation von Steinkohle und von Knochen, was in Bezug auf die soeben gemachten Darlegungen der Beachtung empfohlen sein mag.

Die Reindarstellung und Gewinnung des Chlorophylls aus der Pflanze ist eine sehr schwierige Operation, worauf schon aufmerksam gemacht wurde, denn stets gehen in den Ätherauszug andere Substanzen mit hinein, so daß man neuerdings auch Azeton als Lösungsmittel gewählt hat. Aber die Menge des in der Pflanze vorhandenen Chlorophylls ist ständig nur sehr gering. Um nun aber wenigstens zu einer ungefähren Vorstellung von dem Chlorophyllgehalt der Pflanzenblätter, in denen immerhin noch die stärkste Anteilnahme festzustellen ist, zu gelangen, wollen wir zur Ermittlung des Chlorophyllgehaltes den Weg einschlagen, den Robert Sachsse benutzt hat. Ganz einwandfrei erweist er sich zwar nicht, da das Chlorophyll nicht die einzige stickstoffhaltige Verbindung der Substanz ist, die sich in Äther löst. Doch da die Methode den Vorzug großer Einfachheit hat, so mag sie für unsere Zwecke genügen. Sachsse nahm bestimmte Mengen Blatt-

masse, kochte sie mit Wasser aus und ließ auf sie im Soxhletschen Fettextraktionsapparat so lange Alkohol einwirken, bis die Blattsubstanz völlig entfärbt war. Nunmehr wurde der Alkohol abdestilliert, der verbleibende Rückstand mit wenig Äther in Lösung gebracht und der Äther schließlich verjagt. In der auf diese Weise erhaltenen Trockensubstanz wurde der vorhandene Gehalt an Stickstoff nach dem bekannten Verfahren von Kjeldahl bestimmt, und es konnten z. B. folgende Prozente ätherlöslichen Stickstoffs nachgewiesen werden:

in Fliederblättern	0,15
in Lindenblättern	0,12
in Kastanienblättern	0,14
in Haselnußblättern	0,07

Eine Umrechnung dieser N-Werte unter Zugrundelegung von 9 % N im Chlorophyllin ergibt aber für die Blattsubstanz einen schwankenden Gehalt von etwa 1,7—0,8 % Chlorophyll.

Wie wir vernommen haben, gehen jedoch außer den Farbstoffverbindungen des Blattgrüns noch andere Substanzen in den Ätherauszug. Wir werden sie im nächsten Kapitel ihrer chemischen Beschaffenheit nach zu würdigen haben. Man nennt sie gemeinsam auch wohl Lipoide.

b) Fette, Wachse, Sterine und Phosphatide

Als durch den Ätherauszug aus der Pflanzensubstanz abtrennbar erweisen sich die Fette, Wachse und die als komplizierte Fettstoffe aufzufassenden Phosphatide. Jedoch nur im unreinen Zustande und im Gemisch miteinander enthält sie der Ätherauszug. Hinsichtlich ihres chemischen Aufbaus erweisen sich die Fette von allen am einfachsten zusammengesetzt.

Die Fette, mit denen wir unsere Besprechung der ganzen Körperklasse beginnen wollen, kommen, wie allgemein bekannt, nicht nur in der Pflanze, sondern viel häufiger im tierischen Organismus vor. Zu ihrer allgemeinen Charakteristik sei vorausgeschickt, daß sie meist in Wasser unlöslich sind, aber durch Äther, Azeton, Chloroform, Benzol oder Schwefelkohlenstoff sowie noch andere organische Lösungsmittel in Lösung gebracht werden. Auch Alkohol ist imstande, manche Fette zu lösen. Ihre Konsistenz, die sehr verschieden sein kann, hängt vom Schmelzpunkt ab und dieser wird durch die jeweilige chemische Zusammensetzung, d. h. von der Natur der Fettsäureanteile bestimmt, so daß es schon bei verhältnismäßig niederen Temperaturen wie z. B. bei Körperwärme flüssige Fette neben festen Fetten gibt. Ihnen allen gemeinsam ist im reinen Zustande Geschmack- und Farblosigkeit. Mit indifferenten Lösungsmitteln bilden sie Emulsionen.

Aber nicht nur durch diese mehr physikalischen Eigenarten unterscheiden sie sich von den ihnen in elementarer Zusammensetzung am nächsten stehenden Kohlehydraten, sondern auch insofern chemisch, als sie sauerstoffärmer als diese sind. Die Grundstoffe C, H und O sind ihre alleinigen Elementarbestandteile. Chemisch näher betrachtet, erweisen sie sich als aus zwei Anteilen aufgebaut, nämlich einerseits aus Alkohol, andererseits aus Fettsäure. Während der Alkohol fast ausnahmsweise das dreiwertige Glyzerin ist, vermag die Fettsäure beträchtlich zu wechseln, wennschon eigentlich nur einbasische Säuren in Frage kommen, die allerdings der gesättigten wie ungesättigten Reihe angehören können.

Alkali, Säuren und Fermente besitzen die Fähigkeit, die Fette in ihre Komponenten oder Bausteine, wie man neuerdings sagt, zu spalten. Dieser Vorgang der hydrolytischen Spaltung ist von bevorzugter Wichtigkeit, weil er uns — nicht nur bei den Fetten, sondern auch bei anderen Verbindungen — die Kenntnis über den Aufbau in einfachster Weise vermittelt. Denn behandelt man ein Fett wie z. B. das Stearin mit Kalilauge, welcher Vorgang als Verseifungsprozeß in der Chemie bekannt ist, so erhält man einerseits den dreiwertigen Alkohol Glyzerin und andererseits Stearinsäure, allerdings nicht im freien Zustande, sondern als Kalisalz, Kaliumstearat, das eine Seife darstellt. Wir geben diesen Vorgang durch nachfolgende Gleichung wieder:

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot O\ OC\ C_{17}H_{35} \\ | \\ CH\ \cdot O\ OC\ C_{17}H_{35} \\ | \\ CH_2 \cdot O\ OC\ C_{17}H_{35} \end{array} + 3\,KOH = \begin{array}{l} CH_2 \cdot OH \\ | \\ CH\ \cdot OH \\ | \\ CH_2 \cdot OH \end{array} + 3\,C_{17}H_{35}\,COOK$$

Stearin — Kalilauge — Glyzerin — Kaliumstearat.

Damit sind uns aber die Bausteine des betreffenden Fettes bekannt, allgemein sind es Alkohole und Fettsäuren.

Die in den Fetten vorhandenen Fettsäuren gehören zumeist der gesättigten Reihe an, deren einfachste Glieder die Ameisen- und Essigsäure sind. Propionsäure $CH_3 \cdot CH_2 \cdot COOH$, Buttersäure $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$ usw. können als niedere Glieder der Reihe beteiligt sein, aber am häufigsten kommen aus dieser Reihe die höheren Fettsäuren wie Palmitinsäure $C_{16}H_{32}O_2 = CH_3 \cdot (CH_2)_{14} \cdot COOH$ und die schon genannte Stearinsäure $C_{18}H_{36}O_2 = CH_3 \cdot (CH_2)_{16} \cdot COOH$ vor.

Von den ungesättigten Säuren sind es namentlich die Ölsäure $C_{18}H_{34}O_2$ oder $CH_3 \cdot (CH_2)_7\,CH = CH \cdot (CH_2)_7 \cdot COOH$ und die Erukasäure $C_{22}H_{42}O_2$ oder $CH_3 \cdot (CH_2)_7\,CH = CH \cdot (CH_2)_{11}\,COOH$, von denen die letztere besonders im Pflanzenreich (Rüb- und Senfsamenöl) verbreitet ist. Doch hierauf beschränkt sich die Säureanteilnahme nicht, auch noch aus anderen Reihen können solche entstammen, wie z. B. die Linolsäure oder gewisse Oxy- und Dioxysäuren, wenn dies auch nur Ausnahmen sind.

Vom chemischen Standpunkt stellen sich die Fette als esterartige Verbindungen eines Alkohols mit Fettsäuren dar, und zwar sind die hauptsächlichsten Fette Glyzeride der höheren, gesättigten Fettsäuren. Das Glyzerin führt nun aber drei Alkoholgruppen, und es könnten demzufolge ein, zwei oder drei Fettsäuren mit dem dreiwertigen Alkohol verestert sein. Letzteres scheint aber nur der Fall zu sein. Wie der Abbau durch Hydrolyse, so hat auch die Synthese volle Klarheit in die Konstitution der Fette gebracht. Jedoch ihre Reindarstellung bleibt schwierig, weil ihnen das für einen solchen Zweck erwünschte Kristallisationsvermögen abgeht. In der Natur handelt es sich zudem wohl meist um Fettgemische, die infolge der Natur der Säuren sehr schwierig aufzulösen sind. Neben den Triglyzeriden mit drei Molekülen einer gleichen Fettsäure, wie sie z. B. im Tripalmitin, Triolein, Tristearin usw. vorliegen, gibt es andere mit zwei verschiedenen Fettsäuren, von denen dann natürlicherweise die eine zweimal auftreten muß. Da nun aber die Säurereste auch noch an verschiedener Stelle des Glyzerinrestes, eines bekanntlich diprimären, monosekundären Alkohols, stehen können, so sind weitere Ausbildungsformen, auf die wir jedoch nicht näher eingehen wollen, möglich. Bezeichnungen wie Palmito-distearin, Stearo-dipalmitin, oder bei Einsatz von drei verschiedenen Fettsäureresten, wie z. B. Palmitooleo-stearin, Oleo-palmitobutyrin u. dergl. bringen dieses Verhältnis ohne weiteres zum Ausdruck. Von Fetten mit freien Alkoholgruppen ist mit Ausnahme des sich im Rüböl findenden Dierucins, welches als Diglyzerid der Erukasäure aufzufassen wäre, kein anderes in der Natur als vorkommend bekannt geworden.

In Hinsicht auf die synthetische Darstellung der Glyzerinfettsäureester, also der Fette, wäre nur noch zu erwähnen, daß sie schon im Jahre 1854 von Berthelot vorgenommen wurde, indem er im zugeschmolzenen Rohr Fettsäuren und Glyzerin bei 200° C miteinander erhitzte. Heute gewinnt man die Fette synthetisch in der Weise, daß man die Chlorhydrine, d. h. Chlorsubstitutionsprodukte des Glyzerins, mit den Natriumsalzen der Fettsäuren in Verbindung treten läßt, wie dies nachstehende Gleichung zum Ausdruck bringt:

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot OH \\ | \\ CH \cdot OH \\ | \\ CH_2 \cdot Cl \end{array} + NaOOC \cdot C_{15}H_{31} = \begin{array}{l} CH_2 \cdot OH \\ | \\ CH \cdot OH \\ | \\ CH_2 \cdot OOC \cdot C_{15}H_{31} \end{array} + NaCl$$

Monochlorhydrin — Natriumpalmitat — Monopalmitinsäureglyzerinester — Chlornatrium.

Dichlorhydrine und Trichlorhydrine in gleicher Weise mit den verschiedensten fettsauren Natriumsalzen (Seifen) behandelt, führen ganz analog zu Di- und Triglyzerinestern. Jedoch ist dies nicht die einzige

Möglichkeit, um zu den Fetten durch synthetischen Aufbau zu gelangen. Darin aber, daß uns diese Synthesen ein eindeutig klares Bild von der Konstitution der Fette geben, liegt ihr großer Wert. Dagegen den umgekehrten Verlauf, die Aufspaltung der Fette durch Hydrolyse, haben wir in Gestalt der Verseifung schon kennen gelernt.

Was die Verbreitung der Fette anbelangt, so dürfen wir wohl sagen, daß sie im Pflanzen- wie Tierreich eine sehr große ist. Kaum gibt es wohl eine Zelle, die nicht Fett enthält, und zwar ist es entweder frei abgelagert und dann gewissermaßen als Reservestoff aufzufassen, oder es findet sich mit anderen Bestandteilen der Zelle verbunden. Außer Zellen mit geringer Fettbeteiligung kommen auch solche vor, die in der Hauptsache daraus bestehen, diese sind dem Tierorganismus besonders eigentümlich. Aber nicht nur im Zustande der Bindung finden wir die Komponenten des Fettes in der Pflanze — weniger im Tier — sondern auch als freie Fettsäure und Alkohol treten sie auf. Allerdings ist dies nur spärlich der Fall, und wir haben solche Vorkommnisse zumeist als Auf- und Abbaukörper der Fette aufzufassen.

Im Gegensatz zu anderen Substanzen, wie besonders den ihnen nahestehenden Kohlehydraten, neigen die Fette sehr zu Veränderungen, die schon beim Liegen an der Luft in Erscheinung treten. Es handelt sich dabei wohl um hydrolytische und oxydative Vorgänge, die wir in ihrer Gesamtheit mit dem Ranzigwerden der Fette bezeichnen. Es spalten sich nämlich die höheren Glieder der Fettsäurereihen in niedere, so z. B. in Buttersäure, Valeriansäure u. dergl. mehr, welche den unangenehmen Geruch und Geschmack beim Ranzigwerden verursachen. Fette mit bevorzugtem Anteil ungesättigter Säuren unterliegen besonders gern diesem Zerfall.

Wie wir erfahren haben, werden die Eigenschaften der Fette durch die Natur der Säurekomponenten bestimmt. Ist also viel Ölsäure enthalten, so sind sie mehr oder weniger flüssig, und man spricht dann nicht mehr von eigentlichen Fetten, sondern von fetten Ölen oder Ölen, wie z. B. Olivenöl, Rizinusöl. Aber nicht nur die Art der Fettsäuren vermag die Natur eines Fettes zu verändern, noch weit mehr geschieht es, wenn der Alkoholkomponent einen Wechsel erleidet, was bei den bisher betrachteten Fettkörpern noch nicht der Fall war. Trifft es aber zu, so gelangen wir zu Körpern von etwas anderer Natur.

Die in der Natur vorkommenden Fettkörper mit einer anderen Alkoholkomponente als Glyzerin zeichnen sich durch besondere Eigenschaften, als sie den Glyzeriden zukommen, aus. Das ist selbstverständlich, weil ihnen ja das Glyzerin fehlt und durch einen anderen Alkohol ersetzt worden ist. Wir bezeichnen diese Körperklasse zum Unterschied von den eigentlichen Fetten — Neutralfetten — als Wachsarten oder kurz Wachse. Soweit man bisher orientiert ist,

sind es stets esterartige Verbindungen eines hochmolekularen einwertigen Alkohols mit einem Molekül Fettsäure.

Wir wollen auf die wichtigsten und bekanntesten Vorkommnisse dieser Art, und zwar ganz gleichgültig, ob sie dem Pflanzen- oder Tierorganismus angehören, hinweisen.

Als Palmitincetylester — Cetylalkohol ist $C_{16}H_{33}OH$ — erweist sich z. B. eine Substanz im Schädel der Pottwale, die als Walrat oder Cetin Bezeichnung findet. Das Bienenwachs ist Palmitinmyricilester — Myricilalkohol $C_{30}H_{61}OH$ — und im chinesischen Wachs ist der Cerotinsäurecerylester, im Mohnwachs der Palmitinsäurecerylester nachgewiesen worden.

Wichtiger als die soeben genannten sind aber die esterartigen Verbindungen des einwertigen zyklischen Alkohols Cholesterin mit Fettsäuren. Sie wurden zuerst im Wollfett der Schafe aufgefunden, später in den Hörnern, Nägeln, Klauen, Haaren und Federn der verschiedensten Tiere. Aber auch im Blut, in verfetteten Nieren gelangten sie zum Nachweis. Es sind Palmitin- oder Stearin-Cholesterinester. Infolge ihrer zyklischen Alkoholkomponente stellt man sie nicht zu den Wachsarten. Sie sind im Pflanzenreich stark vertreten, so namentlich in den ätherischen Ölen, desgleichen im tierischen Organismus, wo das Cholesterin selbst vorherrscht. Die Körper dieser ganzen Gruppe heißen gemeinsam Sterine, und da, wie wir gesehen haben, solche des Pflanzen- und solche des Tierreiches bekannt sind, so spricht man von Phytosterinen im Gegensatz zum eigentlichen Cholesterin des Tierreiches. In jeder Zelle dürften sie zu Hause sein.

Die Sterine der Pflanze sind am wechselvollsten aufgebaut, doch enthalten sie, soweit unsere heutigen Kenntnisse reichen, nicht das eigentliche Cholesterin, aber umgekehrt treten die Phytosterine auch nicht im Tierorganismus auf. Das Sitosterin ist sehr verbreitet. Ergosterin und Fungisterin sind im Mutterkorn enthalten und noch viele andere Körper, wie Lupeol, Euphorbon, Stigmasterin usw. gehören hierher.

Am besten sind wir über das Cholesterin selbst unterrichtet. Es wurde zuerst aus den Gallensteinen isoliert. Chevreul, der bekannte frühzeitige Erforscher der Fette nannte es zunächst Gallenfett oder Cholestearin und erst später wurde die Bezeichnung in die jetzige umgetauft, weil die Substanz mit den eigentlichen Fetten ja nichts zu tun hat. Es findet sich in fast allen Organen des Tierkörpers, namentlich aber im Gehirn und im Gallensaft der Leber. Die ihm zukommende empirische Zusammensetzung läßt sich durch die Formel $C_{27}H_{46}O$ wiedergeben, jedoch der Aufbau des Kohlenstoffgerüstes ist im Cholesterin, trotz der eingehenden Bemühungen von A. Windaus noch nicht völlig klargelegt.

Überblicken wir jedoch dasjenige zusammenfassend, was wir über die verschiedenartigen Fette und ihre Verwandten vernommen haben, so dürfen wir sagen:

Allgemein gesprochen sind die Fette esterartige Verbindungen von Alkoholen und Fettsäuren.

Nach der Art der Alkoholkomponente lassen sich jedoch unterscheiden:

1. die eigentlichen Fette, sie führen den dreiwertigen Alkohol Glyzerin und sind daher Fettsäureglyzerinester, und zwar zumeist Triglyzeride.
2. die Wachse, sie enthalten einen hochmolekularen, aliphatischen einwertigen Alkohol und nur eine Fettsäure.
3. die Sterine, in ihnen ist ein zyklischer einwertiger Alkohol mit einer Fettsäure verbunden.

Daß die größte Mannigfaltigkeit in der Ausbildungsmöglichkeit der ersten Gruppe zukommen wird, versteht sich von selbst, denn es sind infolge der Natur des dreiwertigen Alkohols und der damit verbundenen Ersatzfähigkeit gleichartiger oder ungleichartiger Fettsäurereste fünfzehn verschiedene Modifikationen denkbar. Stellt man sich nun vor, daß die Fette in der Natur stets Gemische von Fetten, und diese wiederum so vielseitiger Ausbildung fähig sind, so muß es selbst dem Uneingeweihten leicht verständlich werden, mit welchen Schwierigkeiten der Chemiker zu kämpfen hat, um die chemische Zusammensetzung dieser Körper zu enträtseln.

Den soeben betrachteten Fetten stehen nun gewisse, gleichfalls im Ätherauszug anzutreffende, phosphorhaltige Verbindungen nahe, die als Bestandteile der Pflanzenmembranen wie auch sonst noch eine große Rolle im Stoffwechsel der Zelle spielen. Ihre Erörterung hat sich am besten an die der Fette anzuschließen. Es handelt sich in ihnen um die wichtige Gruppe der Phosphatide, die am Aufbau der Plasmahaut vornehmlich beteiligt und in Bezug auf die Permeabilität des Protoplasmas von besonderer Wichtigkeit ist. Die Lezithine, die Hauptvertreter der Gruppe, fehlen keiner lebenden Zelle und es kommen ihnen besonders physiologisch wichtige Funktionen zu. Ihre Anteilnahme am Aufbau der Nervensubstanz, besonders der des Gehirns, nämlich etwa zu 20%, ist allgemein bekannt, aber auch in Niere, Leber, Herz treffen wir das Lezithin nicht etwa untergeordnet an. Weniger bekannt sind die Phosphatide des Pflanzenreiches, wie das Vitellin und Phytin. Diese Körper unterscheiden sich von den Fetten dadurch außerordentlich, daß sie nicht nur Phosphorsäure, sondern auch noch wenigstens eine stickstoffhaltige Base führen. Sie haben als Phosphatide Bezeichnung gefunden, und man hat sie längere Zeit als einheitliche Verbindungen nach der Art des Lezithins angesehen, bis sich diese Auffassung als doch nicht ganz angängig herausgestellt hat.

Wenn wir die kennzeichnenden Eigenschaften der Phosphatide hervorheben wollen, so befinden wir uns insofern in einer eigentümlichen Lage, als fast alle recht negativer Art sind. Wir erkennen hieraus von vornherein die großen Schwierigkeiten, die zu ihrer Gewinnung und Reindarstellung geführt haben. Sie kristallisieren im allgemeinen nicht, sind farblose, geruch- und geschmacklose, im getrockneten Zustande wachsartige Körper, die in Wasser unlöslich sind und sich außerdem noch sehr leicht zersetzen. Im übrigen teilen sie die gleichen Lösungsmittel mit den Fetten.

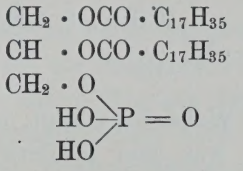
Von den Verbindungen der ganzen Körperklasse ist das Lezithin am eingehendsten untersucht worden, dennoch besitzen wir über dasselbe noch nicht völlige Klarheit, auch wissen wir nicht, ob das Lezithin der Pflanze und des Tieres eine einheitlich gleiche Substanz darstellt, oder ob es verschiedene Lezithine gibt. Mit Sicherheit ist nur zu sagen, daß Glyzerin, Fettsäuren, Phosphorsäure und die stickstoffhaltige Base Cholin zu einem Körper zusammentreten, und wir werden uns daher damit begnügen müssen, die derartig aufgebaute Substanz als Typus aller sonstigen Körper unserer Gruppe gelten zu lassen. Damit soll aber nicht zum Ausdruck gebracht sein, daß dies tatsächlich auch der Fall sein muß.

Wir wollen nunmehr an die mutmaßliche Konstitution des Lezithins herantreten. Den dreiwertigen Alkohol Glyzerin kennen wir, ebenso sind uns die Phosphorsäure und Fettsäuren bekannte Substanzen, nur der Ammoniumbase Cholin sind wir noch nicht begegnet. Zudem sei bemerkt, daß die Synthese des Lezithins bisher noch nicht geglückt ist, so daß wir nur im hydrolytischen Abbau dieser Substanz Fingerzeige für die Zusammensetzung derselben besitzen. Verseifen wir nämlich das Lezithin, so gelangt man unter Aufnahme von drei Molekülen H_2O zu zwei Molekülen Fettsäure, Glyzeril-Phosphorsäure und Cholin. Die Glyzeril-Phosphorsäure läßt sich sodann noch weiter, gleichfalls unter Aufnahme von H_2O in Glyzerin und Phosphorsäure spalten. Wir dürfen somit schließen, daß diese vier Substanzen die „Bausteine“ des Lezithins sind.

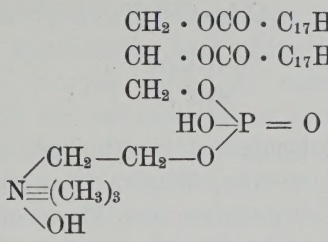
Gehen wir vom Glyzerin aus, so können zwei H-Atome des Hydroxyls, genau so wie wir es von den Fetten her wissen, durch Fettsäurereste unter esterartiger Bindung ersetzt werden. Falls wir Stearinsäure als Fettsäure in Betracht ziehen, so würde beistehendes Schema gelten, jedoch soll mindestens eine der im Molekül des Lezithins vorhandenen Fettsäuren ungesättigt sein.

$$\begin{array}{ll} CH_2 \cdot O\boxed{H\ HO}OC \cdot C_{17}H_{35} & CH_2 \cdot OOC \cdot C_{17}H_{35} \\ CH \cdot O\boxed{H\ HO}OC \cdot C_{17}H_{35} & CH \cdot OOC \cdot C_{17}H_{35} \\ CH_2 \cdot OH & CH_2 \cdot OH \end{array}$$

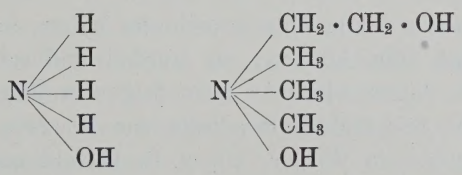
Der Wasserstoff der noch freigebliebenen Hydroxylgruppe findet seinen Ersatz durch die hinzutretende Phosphorsäure.



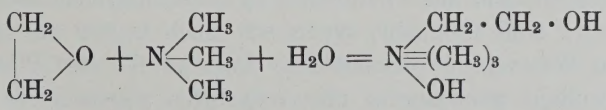
Schließlich müssen wir uns noch den Wasserstoff des endständigen Hydroxyls der Phosphorsäure durch den Cholinrest ersetzt denken — was gleichfalls unter Austritt von H_2O erfolgt — um die mutmaßliche Formel des Lezithins vor Augen zu haben.



Dem uns noch nicht näher bekannten Cholin müssen wir jedoch noch einige Worte widmen. Es ist dies ein Körper, den wir als eine Ammoniumverbindung, nämlich NH_4OH, auffassen können, dessen vier H-Atome einen Ersatz durch drei Methylgruppen und eine Oxyäthylgruppe gefunden haben, so daß wir ihn als Trimethyloxyäthylammoniumhydroxyd ansprechen können.



Die Würtzsche Synthese liefert uns einen Einblick in die Struktur des Cholins, denn läßt man, wie es diese Synthese vorschreibt, Trimethylamin auf eine gesättigte wässerige Äthylenoxydlösung einwirken, so erhält man dasselbe.



Aber auch aus dem Aminoäthylalkohol, den wir als Oxyäthylamin ansehen können und der die Bezeichnung Colamin trägt, können wir durch Behandlung mit Methyljodid und methylalkoholischer Kalilauge Cholin gewinnen.

$$CH_2 \cdot CH_2(NH_2)OH + 2\,CH_3J + CH_3OH + 2\,KOH$$

$$= \begin{array}{l} CH_2 \cdot OH \\ | \\ CH_2 \cdot N \begin{array}{l} \diagup\!\!\!\diagup (CH_3)_3 \\ \diagdown OH \end{array} \end{array} + 2\,KJ + 2H_2O$$

Wir sind auf diese Weise berechtigt, das Cholin als einen Aminoäthylalkohol aufzufassen, was aber insofern als nicht unwesentlich erscheint, als uns dadurch die Beziehungen zwischen Cholin und den in der Pflanze vorkommenden Aminosäuren, wie z. B. dem Betain der Rüben, verständlich werden. Das Betain ist Trimethyloxyaminoessigsäure von der Formel:

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot COOH \\ | \\ N \equiv (CH_3)_3 \\ \quad \diagdown OH \end{array}$$

Wenden wir uns nochmals dem Lezithin zu, so müssen wir darauf aufmerksam machen, daß mehrere Möglichkeiten seiner Ausbildung gegeben sind, je nachdem Fettsäuren und Phosphorsäure-Cholinrest mit dem Glyzerin verbunden sind. Bei gleichartiger Fettsäurekomponente sind folgende zwei Fälle möglich:

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot \text{O-phosphors. Cholin} \\ | \\ CH \cdot \text{O-Fettsäure} \\ | \\ CH_2 \cdot \text{O-Fettsäure} \end{array} \quad \text{und} \quad \begin{array}{l} CH_2 \cdot \text{O-Fettsäure} \\ | \\ CH \cdot \text{O-phosphors. Cholin} \\ | \\ CH_2 \cdot \text{O-Fettsäure} \end{array}$$

Da aber, wie wir schon oben angedeutet haben, auch verschiedene Fettsäuren beteiligt sein können, so werden dadurch weitere Kombinationen möglich, denen wir aber nicht folgen wollen. Die Lezithine kommen aber nicht nur frei in der Zelle vor, sondern auch gebunden an später zu betrachtende Körper, wie z. B. Eiweiß und Kohlehydrate. Derartige Verbindungen hat man Lezithide genannt. Ihnen stehen vermutlich nahe die in der Gehirnsubstanz aufgefundenen schwefelhaltigen Substanzen, Sulfatide geheißen. Jedoch sind diese noch viel weniger als die Lezithine erforscht.

Damit haben wir die wichtigsten in Äther löslichen Pflanzenstoffe besprochen und sind nunmehr, wenn wir noch weiter auf dem bisher beschrittenen Wege in die chemischen Bestandteile der Pflanzenmasse eindringen wollen, gezwungen, uns schärferer Agentien zu bedienen. Wie aber schon angedeutet wurde, ist dieses Verfahren mißlich, da die schärferen Angriffsmittel auch zugleich eine Zerstörung gewisser Bestandteile der Pflanze mit sich bringen.

c) Die Kohlehydrate

Wie schon mehrmals dargetan wurde, haben wir uns der gewöhnlichen Futtermittelanalyse bedient, um die chemischen Bestandteile der Pflanze kennen zu lernen. Wir haben diesen Weg aus dem Grunde eingeschlagen, weil der Studierende der Landwirtschaft noch am ehesten mit dieser einfachen Methode chemischer Pflanzenanalyse vertraut gemacht wird, und somit an bekannte Verhältnisse anknüpfen kann. Durch Trocknung der Pflanzenmasse gelangten wir zur Feststellung von Trockensubstanz und Wasser, und durch Verbrennung der Pflanzensubstanz zu verbrennlichen und unverbrennlichen Anteilen, die wir organische Substanzen und Asche nannten. Schließlich erkannten wir, daß ein ganzer Anteil der verbrennlichen Masse durch Äther oder ähnliche Lösungsmittel aus der Pflanze herausgezogen werden kann. Es waren die Rohfette der Futtermittelanalyse, die wir auf diese Weise ermittelten, und deren sehr verschiedenartige Natur wir uns nachzuweisen bemühten.

Für die übrigen Pflanzenbestandteile existiert aber ein solch generelles Lösungsmittel zur Isolierung einzelner Stoffe oder ganzer Stoffgruppen nicht, namentlich gelingt es nicht, auf diese Weise die große Gruppe der Kohlehydrate von den Eiweißstoffen zu trennen. Behufs einer solchen Trennung bedarf es eingehenderer chemischer Methoden. Dennoch vermag uns die einfache Futtermittelanalyse noch einen Dienst insofern zu leisten, als sie noch einen Hauptvertreter einer ganzen Körperklasse in gewohnter Weise abzuscheiden erlaubt. Dieser Körper gibt uns aber wesentliche Fingerzeige, sowohl in Hinsicht auf die chemische Zusammensetzung, als auf das Verhalten der ganzen großen Körperklasse, deren Vertreter er ist, an die Hand. Sowohl als Ganzes, als auch in Gestalt ihrer einzelnen Vertreter erweist sich diese Körpergruppe als von ganz hervorragender Bedeutung für den Aufbau der organischen Pflanzensubstanz.

Behandelt man nämlich die feingemahlene Pflanzensubstanz bei Siedetemperatur nacheinander mit Schwefelsäure und Lauge von einer bestimmten Konzentration und wäscht die solch energischen Angriffen ausgesetzte Pflanzenmasse mit heißem Wasser, Alkohol und Äther aus, so verbleibt ein Rückstand, der außer den nichtauflöslichen anorganischen Stoffen der Pflanze auch noch organische Substanz enthält. Diese letztere nennen wir Rohfaser, sie besteht in der Hauptsache aus Zellulose. Ihre wirkliche Menge erhält man aber erst nach Abzug des unlöslichen anorganischen Anteils von der auf obige Weise gefundenen Restsubstanz, indem der besagte Rückstand getrocknet und verascht, und aus der Differenz beider Wägungen die Menge der vorhandenen Rohfaser berechnet wird.

Rohfaser ist also ein weiterer Pflanzenbestandteil organischer, verbrennlicher Art, aber wie schon der Name vermuten läßt, handelt es sich auch hier nicht, gerade so wenig wie beim Rohfett, um eine einheitliche Substanz, denn sie kann selbst von Stoffen wesentlich anderer Art als nicht ganz befreit angesehen werden. Wie aber schon angedeutet wurde, haben wir durch das vorgenannte Verfahren eine Substanz, mag sie nun rein oder unrein sein, erhalten, die als der Vertreter einer besonders wichtigen und großen Körperklasse zu gelten hat. Sie gehört nämlich zu jenen Substanzen der Pflanze, die wir gemeinsam als Kohlehydrate zusammenfassen, weil sie aus C, H und O bestehen, und die beiden letztgenannten Grundstoffe ein Mengenverhältnis aufweisen, wie es im Wasser — H_2O — zugegen ist.

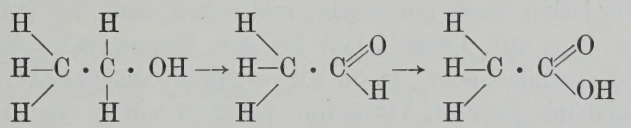
Außer der Zellulose rechnen wir vor allen Dingen die Zuckerarten und die Stärke zu den Kohlehydraten. Bei unserem Prozeß der Isolierung der Rohfaser sind jedoch gerade die letzteren Stoffe nicht im Rückstand enthalten, weil sie den benutzten Lösungsmitteln zum Opfer gefallen sind. Nur die eigentliche Zellulose sowie gewisse andere Körper, wie z. B. Lignin u. dergl. Substauzen haben erfolgreichen Widerstand zu leisten vermocht. Für uns ergibt sich aber aus diesem Verhalten schon eine wichtige Feststellung, nämlich die, daß innerhalb der großen Körperklasse der Kohlehydrate in Bezug auf die Beschaffenheit der einzelnen zugehörigen Substanzen eine große Mannigfaltigkeit bestehen muß.

Daß diese Körper in der Natur außerordentlich verbreitet sind, wurde schon mehrmals betont, desgleichen, daß sie im Pflanzenkörper vorherrschen, wogegen sie im Tier gegenüber den Eiweißstoffen zurücktreten. Dies gilt nicht nur hinsichtlich der Menge, sondern auch in Bezug auf den Formenreichtum. Sie stellen wichtige Nahrungs- und Genußmittel für Mensch und Tier dar. Rohrzucker aus dem Zuckerrohr und aus der Zuckerrübe sind lange bekannt, desgleichen Trauben- und Milchzucker, Stärke und Zellulose bekannte Vertreter dieser Körperwelt. Aber erst in neuerer Zeit sind wir durch die bahnbrechenden Arbeiten Kilianis und Emil Fischers über die chemischen Verhältnisse der vorliegenden Stoffgruppe unterrichtet worden.

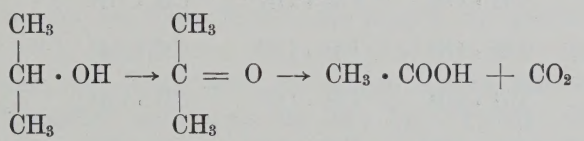
Wünschen wir eine scharf umgrenzte Begriffsbestimmung dessen zu erlangen, was wir eigentlich unter Kohlehydraten zu verstehen haben, so ist eine stichhaltige Formulierung wohl nur auf Grund der chemischen Natur dieser Körperwelt zu geben, und zwar hat sie zu lauten: Die Kohlehydrate sind Aldehyd- resp. Ketonalkohole. Das Verhältnis von H : O in den Kohlehydraten, das, worauf wir schon aufmerksam gemacht haben, der Körperklasse ihren Namen gegeben hat, ist nämlich durchaus nicht etwas, was dieser Gruppe allein zukommt. Wir kennen auch viele andere Verbindungen, die dasselbe Verhältnis zeigen, aber sonst nichts mit den in Rede stehenden Substanzen zu tun

haben. Wir brauchen nur auf die Essigsäure $CH_3 \cdot COOH = C_2H_4O_2 = C_2(H_2O)_2$ oder auf die Milchsäure (Oxypropionsäure) $C_2H_4(OH) \cdot COOH = C_3H_6O_3 = C_3(H_2O)_3$ hinzuweisen, um diesen Tatbestand vor Augen zu führen. Auch hat sich ebensowenig die Annahme berechtigt erwiesen, daß die Kohlehydrate Verbindungen mit stets sechs C-Atomen oder einem Vielfachen davon sind, denn es sind auch solche mit ganz anderer Kohlenstoffanzahl bekannt geworden, aber die Aldehyd-Alkohol- bezw. Keton-Alkohol-Natur der Kohlehydrate zeichnet diese Körperklasse durchweg aus.

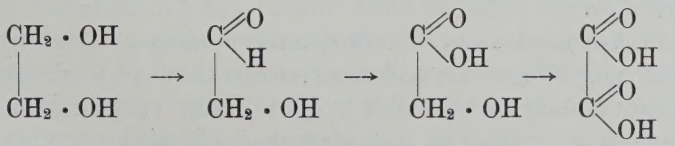
Aldehyde und Ketone sind bekanntermaßen Oxydationsprodukte von Kohlenwasserstoffen bezw. Alkoholen. Entzündet man Äthan C_2H_6 oder Äthylalkohol $C_2H_5 \cdot OH$ an der Luft, d. h. oxydiert sie vollkommen, so bilden sich als Endprodukte dieses Vorganges CO_2 und H_2O. Vollzieht sich dieser Prozeß der Oxydation aber in gemäßigter Weise, so gelangt man zu intermediären Oxydationsprodukten, nämlich in unserem Fall zu Azetaldehyd und Essigsäure.



Wenn dies für die primären Alkohole gilt, so gelangt man auf die nämliche Art ausgehend von sekundären Alkoholen zum Keton, und weitere Oxydation läßt das Molekül in Säuren mit geringerer C-Atomzahl als die des Ketons zerfallen. Die sekundäre Alkoholgruppe CH(OH) geht in die Keton- oder Carbonylgruppe CO über.

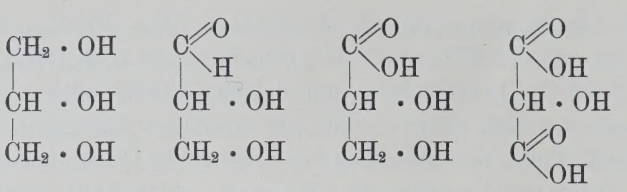


Nehmen wir nun einen mehrwertigen Alkohol und oxydieren diesen, so werden wir, da zwei primäre Alkoholgruppen vorhanden sind, erstens einen Aldehyd, zweitens eine einbasische Säure und schließlich drittens eine zweibasische Säure durch Umwandlung beider Alkoholgruppen erhalten.



Glykol — Glykolaldehyd — Glykolsäure — Oxalsäure

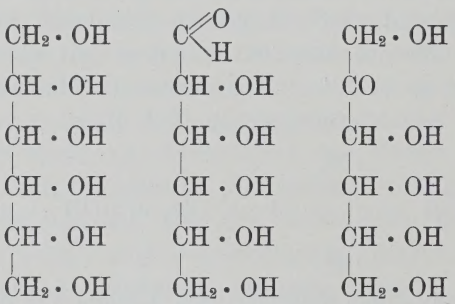
Gehen wir von einem noch höherwertigen Alkohol, z. B. Glyzerin, der drei Alkoholgruppen, zwei primäre und eine sekundäre, besitzt, aus, so stellt sich die Oxydationsfolge nachstehenderweise:



Glyzerin Glyzerose Glyzerinsäure Tartronsäure

Die Glyzerose ist eine sogen. Triose, ein Aldehydalkohol oder Zucker mit drei C-Atomen, oder Aldose.

Von einem vierwertigen Alkohol (Erythrit) gelangt man auf die gleiche Art zu einer Tetrose, von einem fünfwertigen zu einer Pentose, von einem sechswertigen Alkohol zu einer Hexose usw., die alle gleichfalls Aldosen darstellen. Die Hexosen sind für uns, wie wir alsbald erfahren werden, von besonderem Interesse, daher seien auch ihre Strukturformeln hier wiedergegeben. Doch da die mehrwertigen Alkohole nicht nur primäre, sondern auch sekundäre Alkoholgruppen führen, so kann sich die Oxydation auch auf solche erstrecken, und wir gelangen auf diese Weise, wie wir dieses schon für den Isopropylalkohol dargelegt haben, zu Ketonalkoholen. D. h. wir erhalten ausgehend vom sechswertigen Alkohol, je nach Oxydation einer primären oder sekundären Alkoholgruppe, eine Aldohexose oder eine Ketohexose.



Sechswertiger Alkohol Aldohexose Ketohexose

Solche Substanzen wie diese heißen Kohlehydrate, und die beiden letztgenannten Hexosen sind die bekannten Zuckerarten Trauben- und Fruchtzucker.

Damit haben wir aber die Beziehungen einiger mehrwertiger Alkohole zum zugehörigen Aldehyd bezw. Keton und auch zu den Säuren kennen gelernt und einen Einblick in die Strukturverhältnisse der Kohlehydrate gewonnen. Wie es nun aber dem Chemiker möglich ist, die Alkohole durch Oxydation in Aldehyde, Ketone und Säuren zu überführen und aus letzteren durch Reduktion wieder den Ausgangsalkohol darzustellen, so vermag auch die Pflanze in ihren Zellen die gleichen Umwandlungen, aber in viel einfacherer Weise, zu vollziehen.

Halten wir uns streng an den Begriff der Kohlehydrate, so müßten wir eigentlich schon den Formaldehyd $H\text{-}C\begin{cases}\diagup O\\ \diagdown H\end{cases}$ als einfachsten Zucker, nämlich als eine Monose, ansehen. Daran schließen sich die Diosen, abgeleitet vom zweiwertigen Alkohol, an, dann folgen die Triosen, Tetrosen, Pentosen, Hexosen, welche mit den drei-, vier-, fünf- und sechswertigen Alkoholen in Beziehung stehen. Die Hexosen sind aber von ihnen die wichtigsten einfachen Zuckerarten. In analoger Weise reihen sich an diese die Heptosen, Octosen, Nonosen usw. an. Jedoch so einfach liegen die Verhältnisse nun doch noch nicht, denn schon bei den Triosen bestehen zwei Möglichkeiten der Ausbildung, indem ein Aldehyd- oder Ketonalkohol entsprechend der Natur der Alkoholgruppen des Glyzerins vorliegen kann. Derartiges kann nun aber bei allen höheren Gliedern unserer Gruppe vorkommen, wie wir dieses beim sechswertigen Alkohol schon durch die Aufführung der Aldohexose Traubenzucker und der Ketohexose Fruchtzucker zum Ausdruck gebracht haben.

Wir haben soeben das Wort „einfache Zuckerarten“ gebraucht und sind die Erklärung für diese Bezeichnungsweise noch schuldig. Wir müssen sie dahin geben, daß wir unter einfachen Zuckern oder Sacchariden solche Zuckerarten verstehen, denen eine Unzerlegbarkeit in einfachere Spaltstücke von der Art der Kohlehydrate charakteristisch ist. Bei ihrem Abbau erhält man vielmehr im allgemeinen Verbindungen, die nicht mehr den Charakter von Zuckerarten tragen. Die einfachen Zucker können nun aber ihrerseits zu zwei, drei, vier oder mehr Paaren zusammentreten und auf diese Weise neue Körper, die gleichfalls Zucker sind, bilden. Wir heißen sie Polysaccharide oder zusammengesetzte Zucker, um damit ihren vielfältigen Aufbau zum Ausdruck zu bringen. Im Einzelfall werden sie als Di-, Tri-, Tetra- oder Penta- usw. Saccharide zu bezeichnen sein, je nach der Anteilnahme der Anzahl der einzelnen Saccharide. Diese Nomenklatur erstreckt sich natürlich in gleicher Weise auf Ald- oder Ketosen, wie auf Pent- oder Hexosen usw.

Infolgedessen wird ein Polysaccharid gekennzeichnet einmal durch die Anzahl, andermal durch die Art der an seinem Aufbau teilnehmenden einfachen Zucker. Dabei kann dieselbe einfache Zuckerart allein oder mehrfach, oder es können viele verschiedene einfache Zucker in jeder beliebigen Auswahl vorhanden sein. Welche Fülle verschiedener Zuckerarten daher zur Ausbildung gelangen kann, bedarf nach diesen Mitteilungen kaum noch des ausdrücklichen Hinweises.

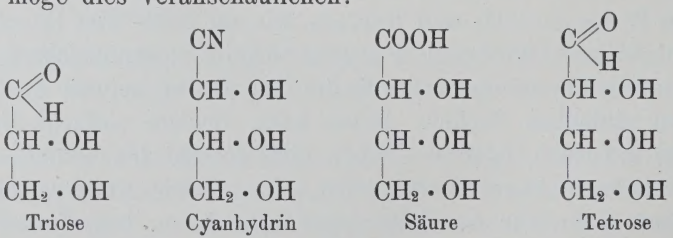
Wir haben nun schon vieles über die Konstitution der Zuckerarten vernommen, aber den Beweis für ein solches Verhalten vermag nur die Synthese der Körper zu erbringen. Was vermögen wir in dieser Beziehung anzuführen?

Emil Fischer fällt das Verdienst zu, hier Licht verbreitet zu haben. Durch gelinde Oxydation führte er den dreiwertigen Alkohol Glyzerin in eine Substanz von typischer Beschaffenheit des Zuckers über. Doch die Glyzerose von der empirischen Zusammensetzung $C_3H_6O_3$ stellt erst eine Substanz mit halbem C-, H-, O-Gehalt der eigentlichen Zucker dar. Allerdings wurde auch diese Schwierigkeit überwunden, als es ihm gelang, zwei Moleküle Glyzerose miteinander zu verbinden. Damit war aber bewiesen, daß die Glyzerose zu den Kohlehydraten gehört, und außerdem läßt die Synthese erkennen, daß zwischen Fetten und Kohlehydraten Beziehungen vorhanden sind, denn das Glyzerin erweist sich hier wie dort als eine Komponente bezw. als ein Baustein. Allerdings sind diese nicht die einzigen ihrer Art. Eine weitere Synthese Emil Fischers benutzte die Polymerisationsfähigkeit des Formaldehyds zu einer dem Traubenzucker ähnlichen Zuckerart, Formose genannt:

$$CH_2O \times 6 = C_6H_{12}O_6.$$

Diese letzte Synthese hat noch eine andere, weittragende Bedeutung, worauf wir schon jetzt hinweisen müssen. Sie stützt nämlich die von Adolf von Bayer vertretene theoretische Ansicht, daß die Bildung der Kohlehydrate bei der Assimilation des C durch die Pflanze über Formaldehyd erfolgt.

Desgleichen erweist es sich für die biologischen Vorgänge in der Pflanze wissenswert, zu erfahren, wie man synthetisch von C-ärmeren zu C-reicheren Zuckerarten gelangen kann. Dies kann in eleganter Weise auf Grund der Gegenwart der Aldehydgruppe im Zucker geschehen, denn diese ist imstande, sich mit Cyanwasserstoff zu binden, wodurch ein sogen. Cyanhydrin entsteht, das durch Verseifung und Reduktion in einen neuen Zucker, aber mit einem C-Atom mehr als die Ausgangssubstanz, übergeht. Diese Methode gestattet einen Aufbau der höchsten aus den einfachsten Gliedern unserer Gruppe. Das nachstehend in der Formelsprache des Chemikers zur Wiedergabe gebrachte Beispiel möge dies veranschaulichen:



Greifen wir nochmals auf die Synthese der Acrose aus Glyzerose oder aus Formaldehyd (Formose) zurück, so haben wir angedeutet, daß diese Zuckerart nicht ganz dem Traubenzucker entspricht. Der Unterschied liegt nun darin, daß dieser synthetische Zucker nicht das Vermögen, die Polarisationsebene des Lichtes zu verändern, besitzt. Er

ist im Gegensatz zu den natürlichen Zuckern optisch inaktiv. Seine Inaktivität ließ sich aber dardurch erklären, daß ihn zwei optisch entgegengesetzt wirkende Komponenten aufbauen. Man hat diese Teile getrennt und sie als Fruchtzucker oder Mannose oder Traubenzucker erkannt. Das Endglied in der Kette des synthetischen Aufbaus der natürlichen Zucker war somit gefunden.

In der Asymmetrie des C-Atoms liegt aber bekanntermaßen jenes physikalische Verhalten der Zucker begründet. Wir wollen auf diese Verhältnisse nicht näher eingehen, aber doch wenigstens andeuten, daß infolge dieser Erscheinung die Anzahl der zu unterscheidenden Zuckerarten außerordentlich wächst. Der empirischen Formel $C_6H_{12}O_6$ entsprechen nicht nur von den Aldohexosen die bekannten Zucker Traubenzucker, Mannose und Galaktose, sondern es treten infolge des Vorhandenseins von vier asymmetrischen C-Atomen 16 konfigurationsverschiedene Isomere auf, von denen 14 zur Darstellung gelangt sind.

Nachdem wir uns eine für unsere Zwecke genügende Übersicht über die Konstitutions- und sonstigen Verhältnisse der Zuckerarten verschafft haben, wollen wir auf die einzelnen Vertreter der Kohlehydrate, soweit sie als wichtigere Pflanzen- und Tierbestandteile inFrage kommen, etwas näher eingehen. Wir wollen dabei nochmals darauf hinweisen, daß eigentlich nur die Pflanze der Sitz dieser Verbindungen ist.

Von den einfachen Zuckern, den Monosacchariden, sind es die mit fünf und sechs C-Atomen ausgestatteten Glieder, die uns vorwiegend zu beschäftigen haben, d. h. also, um uns der wissenschaftlichen Nomenklatur zu bedienen, die Pentosen und Hexosen.

Die Pentosen sind in der Pflanze als Bestandteile des Zellhautgerüstes äußerst häufig vertreten, jedoch nicht im freien Zustande, sondern zumeist mit ihresgleichen oder mit Hexosen verbunden. Solche Substanzen nennen wir Pentosane. Aus diesen werden sie durch Hydrolyse in bekannter Weise gewonnen. Arabinose, Xylose, Ribose sind die in der Natur nachgewiesenen Pentosen von der empirischen Zusammensetzung $C_5H_{10}O_5$, sie sind alle drei Aldosen, also Aldehydalkohole.

Die l-Arabinose, die früher für eine Glyzerose gehalten wurde, kann man aus Kirschgummi durch Behandlung mit 2%iger Schwefelsäure, Neutralisation mit Barytwasser und Eindampfen unter Alkoholzusatz erhalten. Die im Harn vorkommende Pentose ist zwar auch für Arabinose angesprochen worden, ob aber mit Recht, steht noch aus. Xylose oder Holzzucker entsteht aus Holzgummi durch Behandlung mit verdünnten Säuren und die Ribose ist in Nukleinsäuren nachgewiesen worden. Als Methylpentose ist die Rhamnose aufzufassen. Im freien Zustande kommt sie wie die sonstigen Methylpentosen in der Natur vermutlich nicht vor, wohl aber mit Glukose oder Galaktose als

Glykosid verbunden. Durch hydrolytische Spaltung derartiger Verbindungen ist die Rhamnose zur Darstellung gelangt. Man kann sich die Bildung der Pentosen durch Polymerisation von fünf Molekülen Formaldehyd vorstellen, $CH_2O \times 5 = C_5H_{10}O_5$, doch wissen wir darüber nichts Genaues.

Ungleich wichtiger und häufiger in ihrem Auftreten sind von den Monosacchariden die Hexosen von der empirischen Zusammensetzung $C_6H_{12}O_6$, die auch wohl gemeinsam Glykosen genannt werden. Von ihnen sind aber nur die Glukose, Galaktose und Fruktose hervorzuheben. Sie werden meist in kristallisierter Form als leicht in Wasser, schwer in Alkohol lösliche Substanzen erhalten. In Lösung lenken sie die Ebene des polarisierten Lichtes nach rechts oder links ab, sind also optisch aktiv. Sie können, wie wir schon erfahren haben, Aldosen und Ketosen sein. Infolge dieses Charakters sind sie leicht oxydierbar und reduzieren beim Erwärmen alkoholische Metallsalzlösungen. Ihr qualitativer Nachweis sowie ihre quantitative Bestimmung fußen auf diesem Vermögen. Am bekanntesten ist wohl die Methode der Abscheidung des ziegelroten Kupferoxyduls aus einer alkalischen Cuprisalzlösung durch Zusatz von Zucker unter Erhitzung. Auch der bekannten Caramel-Reaktion sei hier noch gedacht, während die rein chemischen Methoden zur Erkennung des Zuckers hier unerwähnt bleiben mögen. Jedoch sei noch kurz auf die wichtigen Umwandlungen, die die Zucker durch die Gärungsorganismen erleiden, hingewiesen.

Gewisse Hefearten spalten den Traubenzucker (Glukose) in Alkohol und CO_2. Wir nennen den Vorgang alkoholische Gärung und geben ihn durch die einfache Formel wieder:

$$C_6H_{12}O_6 = 2\,C_2H_5 \cdot OH + 2\,CO_2.$$

Ferner wird der Traubenzucker durch bestimmte Mikroorganismen in Buttersäure, CO_2 und H zerlegt, entsprechend der Gleichung:

$$C_6H_{12}O_6 = C_4H_8O_2 + 2\,CO_2 + 2\,H_2.$$

Dieser Prozeß heißt Buttersäuregärung, und schließlich spaltet das Milchsäurebakterium ihn in zwei Milchsäuremoleküle:

$$C_6H_{12}O_6 = C_3H_6O_3 + C_3H_6O_3.$$

Diese Umwandlung ist unter dem Namen Milchsäuregärung bekannt.

Wir werden auf diese Umwandlungsvorgänge biologischer Art noch zurückzukommen haben, bilden sie doch die Grundlage aller Fermentreaktionen, von denen noch oftmals die Rede sein wird.

Von den für uns in Betracht kommenden Hexosen, Glukose, Galaktose, Fruktose, sind die beiden ersteren, wie wir schon wissen, Aldosen, die letzte eine Ketose, außerdem sei noch die recht häufig in der Pflanze anzutreffende Mannose, gleichfalls eine Aldose, erwähnt.

Der Traubenzucker oder die Glukose trägt auch die Bezeichnung Dextrose, ebenso wie Fruchtzucker, Fruktose und Lävulose ein und dieselbe Ketohexose darstellen.

Wir haben im voraufgehenden dargelegt, daß zu einem jeden Zucker ein Alkohol resp. eine Säure oder auch mehrere gehören, was sich ohne weiteres aus der chemischen Natur der Zucker ergibt. Es liegt daher nahe, diese Verbindungen der genannten Hexosen kennen lernen zu wollen, zumal die chemischen Wechselbeziehungen dieser Substanzen für die später zu betrachtenden Stoffwechselvorgänge von Bedeutung sind.

Zum Traubenzucker steht der Sorbit als zugehöriger sechswertiger Alkohol in naher Beziehung und als Säure die einbasische Glukonsäure und die zweibasische Zuckersäure $C_4H_4(OH)_4(COOH)_2$. In Bezug auf die Galaktose ist der zugehörige Alkohol der Dulcit und die zugehörigen Säuren die Galaktonsäure und die Schleimsäure. Für die Mannose haben wir in analoger Weise als Alkohol den Mannit, als Säuren die Mannonsäure und die Mannozuckersäure anzuführen, und zwar handelt es sich bei den analogen Verbindungen stets um isomere Körper. Was nun schließlich die Ketohexose Fruchtzucker in dieser Beziehung anbelangt, so ist darauf hinzuweisen, daß hier dementsprechende Säuren nicht vorkommen können, da sie ja als Ketoderivat bei der Oxydation zerfällt. Wohl aber ist der zugehörige Alkohol in Gestalt eines Gemisches von Sorbit und Mannit vorhanden. Alle drei Zucker vermögen ineinander überzugehen, wodurch ihre nahen Beziehungen zum Ausdruck gebracht werden.

Der Traubenzucker (Stärkezucker) ist im Pflanzenreich sehr verbreitet, und zwar namentlich in den süßen Früchten, in denen er stets von einer äquivalenten Menge Fruchtzucker begleitet wird. Im Honig ist er gleichfalls mit Fruchtzucker gepaart vorhanden, überwiegt aber der Menge nach. Von allen Monosacchariden spielt der Traubenzucker oder die Glukose die Hauptrolle, und zwar gilt dies auch für den tierischen Organismus. In der Leber, dem Blut u. a. a. O. ist der Traubenzucker ständig vorhanden, nicht aber unter normalen Verhältnissen im menschlichen Harn, nur bei der sogen. Harnruhr (Diabetes mellitus) tritt er dort, selbst in Mengen bis zu 10%, auf.

Die Glukose ist die Form, in der die Kohlehydrate resorbiert werden. In dieser Gestalt geht die Wanderung der Kohlehydrate von einem zum anderen Organ, von einer zur anderen Zelle, vor sich, und wir erkennen hieraus die eminente Bedeutung dieser Zuckerart. In der Pflanze gelangt ein großer Teil der Glukose umgewandelt in Stärke als Reservestoff oder umgeformt zu Zellulose als Gerüstsubstanz zur Festlegung. Durch hydrolytische Spaltung entsteht die Glukose aus Rohrzucker, Stärke, Zellulose sowie aus vielen Glykosiden.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6.$$

Von Emil Fischer wurde die Glukose synthetisch durch Reduktion aus der d-Glukonsäure gewonnen.

Die Mannose hat man aus den Reservestoffen zahlreicher Pflanzen, wie z. B. Palmen, Liliaceen usw., namentlich aber aus der Steinnuß und ihren Abfallprodukten bei der Knopffabrikation gewonnen. Sie hat längst nicht die Bedeutung wie der Traubenzucker.

Gleiches zu sagen gilt von der Galaktose, die sich im Pflanzenreich als Bestandteil mancher Gummiarten und Alkaloide findet. Im Tierkörper spielt die Galaktose in Verbindung mit Traubenzucker eine Rolle als Milchzucker.

Die Fruktose oder Fruchtzucker, jenes uns schon bekannte Ketoderivat des Mannits und Sorbits, welches in drei Modifikationen, — einer links-, einer rechtsdrehenden und inaktiven —, auftritt, ist nun aber wieder eine Zuckerart, die weitgehende Verbreitung im Pflanzenreich genießt. Sie findet sich dortselbst im freien, wie im gebundenen Zustande. In ersterem ist sie dann mit anderen Zuckerarten gemischt, wie wir dieses im Fall der süßen Früchte von der Glukose schon vernommen haben. Auch geht sie durch Hydrolyse gewisser Reservestoffe, wie z. B. Inulin, hervor, am wichtigsten ist aber ihr gemeinsames Auftreten mit Traubenzucker im Rohrzucker, worüber uns die Hydrolyse unterrichtet, die in der oben dargestellten Weise verläuft, indem ein Molekül Glukose und ein Molekül Fruktose die Spaltstücke darstellen.

Nimmt man den Honig, worauf schon hingewiesen ist, aus, so kommt der Fruchtzucker in den Produkten und auch Organen des Tierkörpers nicht allzuhäufig vor.

Damit sind für uns die einfachen Zucker erledigt, denn was sonst an solchen noch in der Pflanze auftritt, ist nur von lokalem Interesse. Jedoch könnten wir noch erwähnen, daß der wegen seiner gleichartigen empirischen Zusammensetzung mit den Hexosen früher für eine solche gehaltene Körper Inosit nicht zu diesen, sondern zu den sogen. Cyklosen gehört. Er besitzt im Pflanzenreich eine große Verbreitung, so als Bestandteil des Kautschuks, in vielen Samen in Verbindung mit Phosphorsäure als Phytin, in der Weizenkleie usw.

An die einfachen Zucker schließen sich die zusammengesetzten Zuckerarten oder Polysaccharide im weiteren Sinne an. Sie heißen zusammengesetzte Zucker, weil sich mehrere einfache Zuckerarten an ihrer Zusammensetzung beteiligen. Nach der Anzahl der sie aufbauenden einfachen Zucker können wir sie als Di-, Tri-, Tetra- usw. Saccharide unterscheiden, und wir sprechen von Polysacchariden im engeren Sinne, wenn uns die Anzahl der sich beteiligenden Saccharide nicht bekannt ist. In physiologischer Hinsicht dürfen wir die einfachen Zuckerarten wohl als die Aufbau- und Abbaustufen der zusammengesetzten ansehen.

Die einfachsten der zusammengesetzten Zucker sind nach obiger Einteilung und Auffassung natürlich diejenigen, welche von zwei Sacchariden, und zwar von beliebiger Art, also zwei Pentosen, oder zwei Hexosen oder einer Hexose und einer Pentose aufgebaut werden. Ihre Zahl ist, soweit wir ihrer zu gedenken haben, nur beschränkt. Rohrzucker, Milchzucker, Malzzucker und schließlich noch die sogen. Zellobiose wären hier zu nennen. Von ihnen spielt der pflanzliche Rohrzucker eine große Rolle als Nahrungsmittel, der Milchzucker hat eine große Bedeutung im Tierorganismus, der Malzzucker eine solche für die Verzuckerung der Stärke, also im Gärungsgewerbe, und die Zellobiose steht als Abbauprodukt in naher Beziehung zur Zellulose.

Die Disaccharide, denn so haben wir sie ja entsprechend ihrer Zusammensetzung zu nennen, kann man sich nun allgemein durch Zusammentritt zweier Moleküle der einfachen Zucker unter Abgabe von Wasser entstanden vorstellen, wie umgekehrt die einfachen Zucker durch Hydrolyse aus den Polysacchariden hervorgehen. Wir geben ersteren Vorgang durch die folgende Gleichung wieder:

$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 = C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O.$$

Was das Vorkommen des Rohrzuckers anbelangt, so haben wir schon seine allgemeine Verbreitung im Pflanzenreich hervorgehoben und brauchen, sofern dieses nicht schon bekannt sein dürfte, nur noch auf seine große Ansammlung in den Säften des Zuckerrohrs und der Zuckerrübe hinzuweisen. Aber auch in gewissen Palmen, Zuckerahorn, Birke und anderen Gewächsen findet er sich reichlich. Dagegen trifft man ihn, trotzdem er doch von Mensch und Tier als Nahrungsstoff aufgenommen wird, nicht im tierischen Organismus an. Wie das Auftreten des Traubenzuckers und Fruchtzuckers gewöhnlich nur von wenig Rohrzucker begleitet wird, so findet sich auch dort, wo sich der Rohrzucker einstellt, nur wenig von seinen beiden Spaltungsprodukten. Das hängt wohl mit seiner Funktion als Reservesubstanz zusammen.

Die Saccharose oder Saccharobiose, wie unsere Substanz auch wohl bezeichnet wird, ist ein weißer, farbloser Körper, der sich aus wässeriger Lösung in Gestalt großer monokliner Kristalle ausscheidet. Er löst sich bei 20° im halben Gewicht Wasser, ist aber in absolutem Alkohol so gut wie unlöslich. Bei vorsichtigem Erhitzen schmilzt er bei 160° und erstarrt darauf zu glasiger, amorpher Masse. Stärkeres Erhitzen läßt ihn in eine braune, nicht mehr kristallisationsfähige Substanz, Caramel genannt, übergehen. Die Zuckerkristalle sind nicht optisch aktiv, während die geschmolzene Zuckermasse sowie die Lösungen des Zuckers das polarisierte Licht nach rechts ablenken.

Verdünnte Säuren lassen den Rohrzucker in der Kälte nur langsam, in der Wärme jedoch schneller in ein Gemenge von Trauben- und

Fruchtzucker verwandeln, dieses heißt Invertzucker, denn es dreht nach links, weil der Fruchtzucker in dieser Eigenschaft das Übergewicht erhalten hat. Den Vorgang nennen wir Inversion, welcher Ausdruck ganz allgemein für die Hydrolyse zusammengesetzter Kohlehydrate in einfache Zuckerarten benutzt wird. Schon seit 1830 ist die Bildung des Invertzuckers bekannt. Die Inversionskraft der hierzu benutzten Säuren steht in genauer Abhängigkeit zur Affinitätsenergie. Auch sauer reagierende Metallsalze rufen sie hervor, wie desgleichen Fermente, unter diesen namentlich das Invertin der Hefe.

Während der Rohrzucker alkalische Kupferlösung nicht reduziert, und man aus diesem Grunde der Annahme zuneigen muß, daß eine Veränderung der CO-Gruppen des Trauben- und Fruchtzuckers in ihm stattgefunden hat, reduziert der Invertzucker als Mischung gleicher Moleküle beider Saccharide, infolge der Gegenwart freier Aldehyd- und Carbonylgruppen die alkalische Kupferlösung in ganz normaler Weise. Der Rohrzucker als solcher gärt auch nicht, sondern erst dann, wenn der Umsatz in beide Komponenten erfolgt ist.

Wenn auch der Milchzucker keine Substanz des Pflanzenkörpers ist, so können wir ihn doch nicht ganz vernachlässigen. Er wird Laktose oder Laktobiose genannt und ist schon seit Anfang des siebzehnten Jahrhunderts bekannt. Er findet sich zu etwa 3—6% in der Milch der Säugetiere und kann auch unter Umständen im Harn in geringen Mengen, so vor und nach der Geburt, vorkommen. Er ist rechtsdrehend mit starker Birotation. Durch Inversion entsteht Glukose und Galaktose, auch reduziert er in alkalischer Lösung Metalloxyde und wird von reiner Hefe nicht vergoren, Kumys- und Kefirfermente spalten ihn in Alkohol und Kohlensäure. Leicht wird er in Butter- und Milchsäure durch Gärung überführt.

Der Malzzucker, Maltose oder Maltobiose kommt niemals in größeren Mengen vor, er ist zumeist ein Zwischenprodukt des Abbaus. Aus Stärke entsteht er durch Einwirkung von Malzdiastase, desgleichen auch als Zwischenprodukt bei der Umwandlung der Stärke in Glukose vermittels verdünnter Schwefelsäure. Fermentative Spaltung läßt ihn auch im Tierkörper aus dem Glykogen hervorgehen. Die Kenntnis des Abbaus der Stärke durch Malzauszüge geht schon auf die Zeit Ende des achtzehnten Jahrhunderts zurück, allerdings wurde das invertierende Agens erst ein halbes Jahrhundert später in Gestalt der Diastase aus dem Malz isoliert. Auch die Maltose reduziert und ist gleichfalls der Milch- und Buttersäuregärung unterworfen.

Genau so wie sich uns die Maltose als ein Zwischenprodukt des Abbaus von Stärke und Glykogen gezeigt hat, so verhält sich auch das zuletzt zu betrachtende Disaccharid Zellobiose zur Zellulose, deren intermediäres Abbauprodukt sie ist. Hydrolytische Spaltung läßt die

Zellobiose in zwei Moleküle Glukose zerfallen. Gewisse Pilze und Fermente vermögen sie zu spalten, wie auch bei der Verdauung im Darmkanal solches eintritt. Ein Reduktionsvermögen ist ihr eigen, aber gären tut sie nicht.

Bei der großen Wichtigkeit der soeben dargelegten Verhältnisse des Auf- und Abbaus der Disaccharide sowie wegen der besseren Übersicht sei nochmals kurz hervorgehoben, daß der Rohrzucker mit Wasser in Fruktose und Glukose, der Milchzucker in Galaktose und Glukose, der Malzzucker in zwei Moleküle Glukose, die Zellobiose ebenfalls in zwei Moleküle Glukose übergehen, und umgekehrt aus den genannten Monosaccharid-Paaren durch Austritt von Wasser wieder die entsprechenden Disaccharide gebildet werden.

Nun haben wir aber erfahren, daß es auch Trisaccharide, Tetrasaccharide usw. gibt. Die Rhamninose, die Raffinose, die Gentianose gehören zu den ersteren, die Stachyose oder Lupeose zu den Tetrasacchariden des Pflanzenreiches. Werden erstere durch die uns schon bekannten Vorgänge gespalten, so werden unter Aufnahme von nicht einem, sondern von zwei Molekülen Wasser nicht zwei, sondern drei Moleküle Monosaccharide gebildet. Bei den Tetrasacchariden entstehen sogar vier Moleküle einfacher Zucker, die Pentasaccharide kennt man dagegen in der Natur vorkommend noch nicht. Hier würden die Spaltprodukte natürlich noch größer sein.

In Bezug auf die weiteren Polysaccharide, wir dürfen sagen, Polysaccharide im engeren, eigentlichen Sinne, vermögen wir über die näheren chemischen Verhältnisse derselben nichts mehr auszusagen. Wir wissen nur, daß bei ihrem hydrolytischen Abbau, der uns für die Erkennung der Zuckerarten ja schon so viele gute Dienste geleistet hat, gewisse Bausteine gefunden werden, die uns einen Anhalt in besagter Richtung abgeben. Bei der Ergründung des Aufbaus und Konstitution der kompliziert zusammengesetzten Polysaccharide, wie es die Stärke, das Glykogen, die Zellulose sind, verläßt uns also das chemische Experiment und wir sind z. T. auf Vermutungen angewiesen. Wir müssen uns diese hochmolekularen Polysaccharide in der Art aufgebaut vorstellen, daß n Moleküle Monosaccharide so aneinander gereiht sind, daß jedesmal ein Baustein unter Austritt von Wasser sich mit einem anderen verknüpft hat, d. h. daß die Verhältnisse wohl ähnlich so liegen, wie wir es bisher bei den einfacheren Vertretern unserer Gruppe erkannt haben. Allerdings soll es sich neueren Ansichten zufolge um anhydridartig verbundene Ringkomplexe handeln. Wir lassen dieses dahingestellt und schreiben die allgemeine Formel der Polysaccharide:

$$x\ C_6H_{10}O_5 + n\ H_2O.$$

Ihre Anzahl ist eine sehr große, jedoch wissen wir von ihren einzelnen Vertretern nur wenig, da die von uns gemeiniglich unterschiedenen Körper im chemischen Sinne keine „Individuen" sind, sondern eine mehr oder weniger komplizierte Mischung oder ein Gemenge solcher darstellen.

Die Polysaccharide sind nun ebenfalls entweder aus Hexosen, Pentosen oder gleichzeitig aus Vertretern dieser beiden Monosaccharide zusammengesetzt, und zwar überwiegen die Aldosen. Jedoch es gibt auch Ausnahmen, denn das Polysaccharid Inulin der Dahlien ist nur aus der Ketohexose Fruchtzucker aufgebaut. Sind nur Pentosen beteiligt, so spricht man von Pentosanen, sie sind in den Zellmembranen der Pflanzen weit verbreitete Körper, Methylpentosan ist besonders im Holz enthalten. Mit dem Alter der Gewächse nimmt der Pentosangehalt zu. Hemizellulosen, Pflanzenschleime, Amylane, Gummi, Pektinstoffe u. dergl. mehr gehören alle zu den Polysacchariden. Ihre Stellung im System wird durch die Hydrolyse erbracht, denn alle liefern Spaltprodukte von der Beschaffenheit der verschiedensten Saccharide. Wir haben nur ganz kurz diese Körperklasse gestreift, und zwar aus dem Grunde, weil wir in chemischer Hinsicht nicht viel über sie mitzuteilen wissen, jedenfalls werden wir aber den Eindruck gewonnen haben, daß hier eine außerordentliche Formfülle von Stoffen vorliegt, die zwar einer sich nahestehenden, aber doch sehr wechselnd zusammengesetzten Körperwelt angehört, deren Enträtselung aber bisher nur recht unvollkommen gelungen ist. Wir wollen uns daher jetzt denjenigen Polysacchariden zuwenden, die als Bestandteile der Pflanze noch ein höheres Interesse als die bisher genannten beanspruchen und die infolge ihrer langen Bekanntschaft den Eindruck machen, als seien sie stofflich völlig erkannte Substanzen, was aber, trotz ihrer eminenten Bedeutung als Nahrungs- und Futterstoffe, durchaus nicht der Fall ist. Wir brauchen nur an den Namen Stärke zu erinnern, um damit das soeben Gesagte zu erhärten.

Die Stärke oder Amylum kommt als wesentliches Assimilationsprodukt der chlorophyllhaltigen Zellen reichlich in diesen vor und häuft sich als Reservestoff in einzelnen Organen an. Sie ist die typischeste Reservesubstanz des Pflanzenreichs, d. h. ein Produkt, das nicht zum sofortigen Gebrauch abgelagert wird, sondern erst in späteren Zeiten einen Abbau erfährt, um dann allen möglichen Bedürfnissen der Pflanze dienen zu können. Dementsprechend treffen wir die Stärke auch in besonderer Form ausgebildet in den Knollen und Wurzeln der Kartoffeln und Bataten, in den Früchten der Bananen und Kastanien, in den Samenkörnern des Getreides, von Mais, Reis und den Leguminosen an.

In Europa geht man zur Gewinnung der Stärke vor allen Dingen von den Kartoffeln, dem Weizen und Mais aus. Jedoch enthalten diese

Pflanzen der Menge nach weniger Stärke als gewisse tropische Gewächse, wie Manihot und Saghus. Gestalt und Form der Stärkekörner ist nach der Pflanzenart, in der sie vorkommen, sehr abwechselungsreich. Man spricht sie als sogen. Sphaerokristalle an, um dadurch die Besonderheit ihrer Ausbildung darzutun. Meist sind es mikroskopische Körnchen von rundlicher Form und konzentrischer Schichtung um einen Kern herum, bisweilen sind sie aber auch von eckiger, polygonaler Form. Ihre Größe wechselt ebenso wie ihre Gestalt. So schwankt der Durchmesser der Stärkekörner beim Reis zwischen 0,003—0,007 mm, des Weizens zwischen 0,005 und 0,04 mm, der Kartoffel zwischen 0,06 bis 0,1 mm. Die Stärke ist sehr wasserhaltig und hygroskopisch, das Wasser wird durch Imbibition aufgenommen und selbst lufttrockene Stärke enthält noch immer 10—30% davon. Dem polarisierten Licht gegenüber verhalten sich die Stärkekörner wie doppelbrechende Kristalle, was seine Ursache in dem Aufbau aus lauter nadelförmigen Einzelkristallen, Trichiten, die etwa 0,1 μ dünn sind, hat. Neuere röntgenspektrographische Untersuchungen bestätigen dieses.

In kaltem Wasser lösen sich unverletzte Stärkekörner nicht auf, wohl aber beim Erwärmen, da dann die Körner platzen und es bei etwa 70° zu einer Bildung von Kleister kommt. Erhitzt man die Stärke aber auf etwa 200°, so wird sie auch in kaltem Wasser löslich, denn es liegt dann keine Stärke mehr, sondern größtenteils Dextrin vor.

Wie wir also sehen, ist die Stärke ohne voraufgegangene chemische Veränderung nicht in Wasser löslich. Durch Einwirkung von Säuren in der Wärme vermag das Ziel gleichfalls erreicht werden, weil dann die Stärke in Traubenzucker überführt worden ist. In der Pflanze wird die Auflösung der Stärke durch ein Enzym oder Ferment hervorgerufen, nämlich durch die Diastase (Amylase). Setzt man der Stärke einen Gersten- oder Malzextrakt, der die Diastase enthält, hinzu, so sieht man sie allmählich in Lösung übergehen. Jodlösung, das bekannte Reagens auf Stärke, läßt uns die Umwandlung noch deutlicher werden, indem die ursprüngliche Blaufärbung in eine rote Färbung übergeht, denn die Stärke ist schließlich verschwunden und hat dem Dextrin und der Maltose Platz gemacht. Die Verzuckerung der Stärke bezw. des Stärkekleisters soll sich in zwei Stufen vollziehen, jedoch bevor wir hierauf eingehen, müssen wir erwähnen, daß zwei scharf getrennte Bestandteile der Stärke unterschieden worden sind, die Amylose und das Amylopektin. Letzteres bildet den Hauptanteil der Stärke, aber chemische Individuen haben wir auch in diesen Körpern nicht zu sehen. Der eine Anteil, die Amylose, wird sehr schnell in Maltose umgesetzt, und erst ganz langsam geschieht die Umwandlung des Amylopektins, nachdem das die Hydrolyse bewirkende Ferment erst allmählich im Malzextrakt zur Bildung gelangt ist, zu Dextrinen, die, wenn auch nur ganz

allmählich, so doch auch zu Maltose werden. Amylose und Amylopektin, unterscheiden sich durch ihr Verhalten gegenüber Alkalien, indem das erstere durch diese gelöst, das zweite nicht gelöst wird. Die Amylose soll im Innern der Stärkekörner enthalten sein, während die äußere Hülle aus Amylopektin besteht.

Will man die Stärke aus Kartoffeln gewinnen, so zerreibt man dieselben zu einem Brei und behandelt ihn solange mit Wasser, bis alle wasserlöslichen Bestandteile entfernt sind. Von der abgesetzten Stärke hebt man dann das Wasser ab und reinigt den Rest durch Zentrifugieren. Weizen und Mais überläßt man gewöhnlich erst einer Gärung, um den darin enthaltenen Kleber zu beseitigen, und wäscht darauf die Stärke aus der vergorenen Masse aus. Der Reis wird schließlich unter Zusatz von ganz verdünnter Natronlauge zwecks Entfernung des die Stärkekörner verbindenden Pflanzenschleims und der Eiweißstoffe naß gemahlen und dann erst abgeschlämmt.

Nach neueren Untersuchungen soll die Stärke auch Phosphorsäure enthalten, und zwar in chemisch gebundener Form.

Wenn wir uns nun auch kein genaues Bild über die wahre chemische Zusammensetzung der Stärke machen können, und auch der Verlauf des Stärkeabbaus noch nicht gänzlich geklärt erscheint, so erweist sich doch als sichergestellt, daß Säuren und Fermente die Stärke über viele Zwischenprodukte glukoseartiger Natur zu Traubenzucker abbauen. Wir haben daraus zu entnehmen, daß die Komponenten der Stärke Polysaccharide der Glukose sein werden. Das ganze große Gemisch von Abbausubstanzen hat man mit dem Namen Dextrin belegt, welchem Begriff keine chemische, sondern lediglich biologische Bedeutung beigemessen werden muß.

Auch die Zellulose teilt vom chemischen Standpunkte aus mit der Stärke dasselbe. In Bezug auf die Anteilnahme am Aufbau des pflanzlichen Organismus ist sie von gleich wichtiger Bedeutung, wenn dieselbe auch in ganz anderer Richtung liegt. Denn während der Stärke die Hauptaufgabe, als Reservestoff zu dienen, zufällt, kommt dem Polysaccharid Zellulose die Funktion zu, Gewebestütz- und Abgrenzungssubstanzen zu bilden. Sie ist also durchaus eine Substanz des Pflanzengewebes, der äußeren Pflanzenzellen. Sie bildet die Zellmembran und dient daher zum mechanischen Aufbau der Pflanze. In noch jugendlichen Pflanzenteilen ist sie in fast noch reinem Zustande vorhanden, mit dem Alter wird sie, wie besonders in der älteren Holzfaser, von inkrustierenden Substanzen durchdrungen. In Parenchymzellwänden, Baumwollhaaren und sonstigen derartigen Zellmembranen kann sie bis über 90 % der Gesamtmasse anwachsen.

Nicht uninteressant dürfte es aber sein, daß die Zellulose nicht nur im Pflanzenreich vorkommt, sondern auch in der Tierwelt, wenn

auch hier nur ganz vereinzelt anzutreffen ist. Das Tunicin, aus dem der Panzer oder Mantel der Tunicaten (Manteltiere) besteht, ist eine solche tierische Zellulose. Der tatsächliche Nachweis hierfür wird durch die chemische Beschaffenheit seines Abbauproduktes, nämlich Zellobiose, erbracht.

Bezüglich der Gewinnung der Zellulose, wenigstens der Rohfaser, haben wir uns schon hinlänglich verbreitet und haben dabei erkannt, daß es sich um einen recht widerstandsfähigen organischen Körper handelt. Zu ihrer Reindarstellung benutzt man daher in verschiedener Weise ihre Resistenz und Beständigkeit gegen Reagentien der verschiedensten Art und ihre Unlöslichkeit in den üblichen Lösungsmitteln. Jedoch wählt man schon von vornherein möglichst reine Ausgangsmaterialien, wie z. B. Baumwolle oder Flachsfaser, und behandelt solche sukzessive mit Äther, Alkohol, Wasser und verdünnten Säuren und Alkalien und endlich, zur Entfernung der Kieselsäure, mit Fluorwasserstoffsäure. Allen diesen Reagentien, selbst in der Aufeinanderfolge ihrer Einwirkungen, bietet diese Substanz Widerstand. Sie bleibt im ursprünglichen Zustande und in der Struktur unangegriffen zurück. Tritt die Zellulose in langen Fäden auf, so bildet sie den Flachs, Hanf, Nesselfäden, Jute usw., die wir gemeinsam als Gespinstfasern bezeichnen und welche den Ausgangspunkt aller unserer Gewebe- und Gespinstfabrikation, auch die des Papiers und der Schießbaumwolle abgeben. Feines Filtrierpapier ist nahezu reine Zellulose.

Nur in ammoniakalischer Kupferoxydlösung löst sich die Zellulose auf und kann aus dieser Lösung durch einen Zusatz von Säuren, Kochsalz oder auch Zucker und viel Wasser als weißes, amorphes Pulver abgeschieden werden. Bei gewöhnlicher Temperatur längere Zeit mit konzentrierter Schwefelsäure behandelt, entstehen daraus Schwefelsäureester, mit Essigsäure und Schwefelsäure bei etwa 100° behandelt, gibt sie Oktaazetylzellobiose, aber heiße, konzentrierte Schwefelsäure zerstört sie. Daß durch das Nitrieren der Zellulose die bekannte Schießbaumwolle (Nitrozellulose) erzeugt wird, dürfte wohl als allgemein bekannt vorauszusetzen sein. Mit Jod und Schwefelsäure färbt sich die Zellulose blau. Es ist dies ein empfindliches Reagens auf Zellulose.

Jedoch die Abbauprodukte der Zellulose erscheinen uns wichtiger, als diese allgemein chemischen Kennzeichen. Wir sind in dieser Hinsicht aber gleich wenig wie bei der Stärke unterrichtet, und zwar aus den nämlichen Gründen und Ursachen. Wir wissen nur, daß sich bei der Hydrolyse — nämlich Kochen mit verd. Säuren — als letztes Spaltungsprodukt Glukose, also Traubenzucker, einstellt. Als sonstiges Zwischenprodukt dieses Vorganges kennen wir noch die schon so häufig erwähnte Zellobiose, die aber als Disaccharid weiter in zwei Moleküle Traubenzucker zerfällt. Ihr Abbau durch fermentative Einwirkung ist

auch ein schwieriger; gewisse Mikroorganismen leisten diese Arbeit, wie wir dieses noch später erfahren werden. Die Konstitution der Zellulose ist gleich der der Stärke noch ziemlich dunkel.

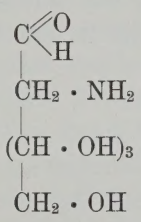
Das Holz bezw. die Holzsubstanz erweist sich nicht als aus reiner Zellulose bestehend, sondern es tritt zu dieser noch das sog. Lignin, soweit nicht noch stickstoffhaltige Substanzen und Aschebestandteile dabei beteiligt sind. Das Endprodukt des Stoffwechsels in der Pflanze stellt die Zellulose als Gerüstmaterial der Pflanzenzelle dar, und der Holzstoff, der bis zur Hälfte die Trockensubstanzmasse ausmachen kann, ist ein Oxydationsprodukt, welches mit der Zellulose in Verbindung tritt. Neben dem Lignin sind noch verschiedenartige Pentosane, so z. B. die Xylane (Holzgummi) und gewisse aromatische Körper an der Zusammensetzung des Holzes beteiligt, was aber zu verfolgen uns zu weit führen würde.

Was die Stärke im Pflanzenkörper ist, das stellt gewissermaßen das Glykogen im tierischen Organismus vor, denn das Tier häuft die nicht verarbeiteten Kohlehydrate in der Form des Glykogens an gewissen Stellen im Organismus an. Wenn es nun auch nicht unsere Aufgabe ist, den Bestandteilen und Stoffwechselprodukten des Tierkörpers nachzugehen, so können wir doch nicht ganz an diesem wichtigen Körper aus der Klasse der Polysaccharide vorbeigehen.

Das Glykogen ist ein weißes, amorphes, geschmack- und geruchloses Pulver, das im kalten Wasser unter Opaleszenz aufquillt, aber sich nicht löst; tierische Membranen durchdringt es nicht, gerade so wenig wie dies die Stärke vermag, d. h. es liegt in ihm ein Kolloidkörper vor. Durch Alkohol kann es vollständig ausgefällt werden, und mit Jodlösung färbt es sich rot. Was seinen Abbau anbelangt, so zerfällt es gleichfalls wie die Stärke zunächst in Dextrine, dann Maltose und Glukose. Hauptsächlich findet es sich in der Leber, ist aber auch sonst noch ein sehr verbreiteter Körper im tierischen Organismus.

Bisher haben wir von den Kohlehydraten nur solche Substanzen einer Besprechung unterzogen, an deren Aufbau allein Kohlehydrate beteiligt sind. Jedoch die Saccharide treten auch in mannigfaltiger Art mit allerhand anderen Substanzen, die nicht aus Kohlehydraten zu bestehen brauchen, zusammen. Alle Verbindungen solcher Natur hat man als Glukoside oder auch Glykoside bezeichnet. Bevor wir jedoch zur Erörterung dieser Substanzen übergehen, erweist es sich notwendig, noch auf eine andere Körperklasse, die gleichfalls von nicht einheitlicher Kohlehydratbeschaffenheit ist, hinzuweisen. Es handelt sich hier um Substanzen, die neben Kohlehydrat auch Stickstoff führen, und somit Übergangsbildungen zu der später zu betrachtenden Gruppe der Eiweißkörper darstellen. Es sind mit einem Wort stickstoffhaltige Kohlehydrate. Aber gerade solche Substanzen wie diese zeigen sich in mancherlei Hinsicht als besonders lehr-

reich, nämlich einmal vom Gesichtspunkt der altbekannten Erfahrungstatsache, daß die Natur in ihren Gebilden nur Übergänge kennt, „keine Sprünge macht", wie sich s. Z. der bekannte Botaniker Linné treffend ausgedrückt hat, andermal ihre Kenntnis aber von größtem Wert ist für die wechselseitigen physiologischen Beziehungen, die sich aus ihrem Vorhandensein ergeben. Der Vertreter dieser Verbindungen schließt sich unmittelbar an das Monosaccharid Glukose an, deren Aminoderivat er ist, und wenn er auch nur vorwiegend im tierischen Organismus zu Haus ist, so wollen wir aus den soeben dargelegten wichtigen Beziehungen hier seiner gedenken. Es ist das Glukosamin, dem eine solche vermittelnde Rolle zukommt. Aufgefunden wurde es bei der Spaltung des Chitins, das ist aber eine Substanz, die weite Verbreitung im Tierreich genießt. Die Hartteile der Arthopoden, der Crustaceen werden von diesem komplizierten Körper aufgebaut. Aber auch bei manchen Pilzen und Flechten findet er sich vor. Dem Glukosamin kommt die Formel zu:

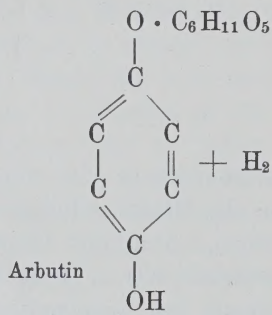


Aber nicht als solches bildet es das Chitin, sondern in viel komplizierterer Art stellt sich dieses unter Anteilnahme des Glukosamins aufgebaut dar, worauf wir hier nicht einzugehen haben. Daß das Glukosamin auch in den Bausteinen mancher Eiweißsubstanzen wie z. B. im Muzin, zugegen ist, mag noch erwähnt sein, um damit den angedeuteten verwandtschaftlichen Beziehungen Rechnung zu tragen. Denn als ein Derivat des Traubenzuckers oder der Mannose, in dem eine Hydroxylgruppe durch die Aminogruppe Ersatz gefunden hat, vermittelt es den Übergang zu den Oxy-α-Aminosäuren, die bekannte Spaltprodukte der Eiweißkörper darstellen.

Nun aber zurück zu den Glukosiden, die wir als eine große Zahl von natürlich im Pflanzenorganismus auftretenden ätherartigen Verbindungen der Glykosen, besonders des Traubenzuckers, und der Polysaccharide mit anderen organischen Verbindungen, wie Säuren, Aldehyden u. dergl. m. kennzeichnen können. Wie wir uns die Glykoside aus diesen einzelnen Komponenten durch Wasseraustritt entstanden denken hönnen, so zerfallen sie auch unter verschiedenen Einflüssen, besonders beim Erwärmen mit verdünnten Säuren, wieder in jene Bestandteile. Ihre Einteilung kann entsprechend ihrer chemischen Natur nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen, jedoch als sehr zweckentsprechend, nämlich

als völlig ungezwungen, erscheint das von Emil Fischer vorgeschlagene Einteilungsprinzip nach ihrem Verhalten gegenüber den Fermenten. Es gibt nämlich Glykoside, die nur von Bierhefe und deren Fermentauszügen zerlegt werden, andere verhalten sich diesen gegenüber völlig passiv, aber das Ferment Emulsin, das in den Mandeln enthalten ist, spaltet sie. Erstere benannte Emil Fischer α-Glukoside, letztere β-Glukoside. Die Glykoside des Pflanzenreichs, die am häufigsten sind, gehören ausschließlich der β-Reihe an. Dies sei nur nebenbei bemerkt, denn für uns gilt es nur einige der vielen Vertreter herauszugreifen, um uns eine Vorstellung und einen Einblick in die Verbreitung und Zusammensetzung dieser umfangreichen Körperklasse zu verschaffen.

Zunächst sei hier das Arbutin in den Blättern der Bärentraube wie in noch anderen Pflanzen genannt. Es zeichnet sich durch verhältnismäßig einfache Zusammensetzung, nämlich als ein Hydrochinonderivat des Fruchtzuckers, aus, wie solches auch aus seiner Hydrolyse hervorgeht, indem sich Hydrochinon und Glukose als Spaltungsstücke bilden.



Arbutin

$$+ H_2O = \underset{\text{Glukose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Hydrochinon}}{C_6H_4(OH)_2}$$

Ferner sei auf Phlorhizin, Gaultherin sowie auf die Glykoside der Digitalis als noch komplizierter aufgebaute Glykoside des Pflanzenreiches hingewiesen. Ersteres findet sich in der Rinde des Apfel-, Kirsch- und Pflaumenbaumes. Besonders hervorzuheben ist noch das Amygdalin als ein stickstoffhaltiges Glukosid, das in den Kernen des Pfirsichs und der Kirsche, in den Kirschlorbeerblättern und in den bitteren Mandeln enthalten ist. Das Ferment Emulsin, gleichfalls in den bitteren Mandeln vorhanden, läßt es in zwei Moleküle Glukose, Benzaldehyd und Blausäure zerfallen. Wir entnehmen hieraus, daß wir es auch in diesem Körper mit einer z. T. zyklischen Verbindung zu tun haben.

$$C_{20}H_{27}NO_{11} + 2\,H_2O = 2\,C_6H_{12}O_6 + C_6H_5CHO + HCN.$$

Man kann das Amygdalin daher auch als Glukosid eines Disaccharids ansehen.

Auch das Alizarin, jener so bekannte und geschätzte Krappfarbstoff, dann das Indican im Indigo des Pflanzenkörpers gehören hierher und schließlich haben wir noch die als Anthocyane benannten Blütenfarbstoffe, die auch in den Früchten vorkommen, zu nennen, so das Cyanin der Kornblume, das Onin der Weintraube, das Myrtelin der Heidelbeere, das Delphinin des Rittersporns und viele andere. Ihre Spaltungsprodukte erlauben uns in allen Fällen Rückschlüsse auf ihre komplizierte Zusammensetzung zu machen. Doch nicht genug damit, denn in den Flavonen, im Tannin, Saponin usw. treten uns weitere Glukoside verwandter Art entgegen, die wir aber nicht weiter zu verfolgen gedenken. Aber nicht nur dem Pflanzenreich allein sind die Glukoside eigentümlich, auch im tierischen Organismus treffen wir sie an, wenigstens Verbindungen, die bei der hydrolytischen Spaltung Zuckerarten als Bausteine hinterlassen. So enthalten u. a. die Nukleinsäuren der Gehirnsubstanz Zucker als Abbauprodukte.

Damit hätten wir auch die große Gruppe der Kohlehydrate als Bestandteile der Pflanzensubstanz erschöpft, wenigstens in dem Umfange, als es für unsere Zwecke tunlich erscheint. Erinnern wir uns, daß wir von der Zellulose als demjenigen Vertreter dieser Gruppe ausgegangen sind, der in Gestalt der Rohfaser durch besonders einfache Behandlungsweise von den übrigen Pflanzenbestandteilen abgetrennt werden konnte, so dürfen wir nicht verkennen, daß dieses Trennungsverfahren doch nur für einen ganz bestimmten Anteil der Kohlehydrate durchführbar war. Der Hauptanteil der Kohlehydrate ging sogar durch diese Bestimmungsweise verloren, denn er wurde zerstört. Die allgemeine Futtermittelanalyse erlaubt also nicht, um dieses hier nochmals zu betonen, die Menge aller Kohlehydrate in der Pflanzensubstanz auf direktem Wege zu ermitteln, sondern sie schlägt, wie wir bald erfahren werden, zu diesem Zwecke einen Umweg ein. Trotzdem gibt es aber auch Methoden, die den Gehalt der Pflanzenmasse an einzelnen Kohlehydraten chemisch unmittelbar zu bestimmen gestatten. Wir haben auf solche schon gelegentlich der Besprechung der Zuckerarten hingewiesen, so z. B. auf ihr Vermögen alkalische Kupferlösungen zu reduzieren, um auf diese Art die Menge des Zuckers bestimmen zu können. Auch die Ermittelung der Stärke läßt sich auf rein physikalischem Wege befriedigend lösen, ganz abgesehen von den rein chemischen Möglichkeiten.

Es ist hier nicht unsere Aufgabe, diesen Dingen nachzugehen, wenn auf derartige Verfahren die Aufmerksamkeit gelenkt wurde, so geschah es aus dem Grunde, um nicht die Vorstellung zu erwecken, daß die gewöhnliche Pflanzenanalyse in Gestalt der Futtermittelanalyse die einzige Möglichkeit bietet, um zur Erkenntnis von der Pflanzenzusammensetzung zu gelangen.

d) Das Eiweiß und seine Bausteine; Nukleoproteide und Alkaloide

Nochmals wollen wir uns der Futtermittelanalyse zur Erschließung einer weiteren gleichfalls äußerst wichtigen Gruppe von Pflanzenbestandteilen bedienen. Auch diesmal löst die Futtermittelanalyse ihre Aufgabe außerordentlich einfach, wenn auch nicht direkt, denn hierfür ist die gestellte Aufgabe viel zu schwierig, sondern auf dem Wege eines Rückschlusses. Allerdings müssen wir wiederum zugeben, daß das Ergebnis unter solchen Verhältnissen auch nur ein recht oberflächliches sein kann. Jedoch — das wollen wir sofort hinzufügen — genügt es vollkommen für den praktischen Zweck des Nachweises dieser Körperklasse. Die Futtermittelanalyse weiß dieses auch alles sehr wohl und spricht daher, genau so wie bei der Bestimmung der Rohfette und der Rohfaser, auch hier nur von einer solchen des Roheiweißes, oder wie wir uns sonst noch auszudrücken pflegen, von Rohprotein. Sie ermittelt nämlich lediglich den Gehalt der Pflanzenmasse an Stickstoff, und weil dieser zumeist auf die Eiweißstoffe zurückzuführen ist und zudem in einem bestimmten Verhältnis zu den übrigen Elementarstoffen C, H und O steht, so kann aus dem Gehalt an Gesamtstickstoff die Menge des vorhandenen Eiweißes berechnet werden, indem die gefundene Stickstoffmenge nach Übereinkunft mit dem Wert 6,25 zu vervielfältigen ist. Dieses Vorgehen erweist sich im allgemeinen als zulässig, trotzdem es namhafte Fehlerquellen in sich schließt, die allerdings für die große Praxis, namentlich in Rücksicht auf die Einfachheit des ganzen Verfahrens, von geringer Bedeutung sind.

In diesen auf genannte Weise isolierten Substanzen treten uns, sofern wir von den bisher nur nebenbei berücksichtigten, ganz geringen Ausnahmen absehen, zum ersten Mal organische Substanzen entgegen, die außer C, H und O auch noch N, und zwar in beachtenswerter Menge, enthalten.

Der Stickstoff ist somit ein wesentlicher, unumwunden notwendiger Bestandteil aller Eiweißstoffe oder Proteine, so daß wir diese vorläufig als hochmolekular zusammengesetzte stickstoffhaltige Verbindungen bezeichnen können.

Was uns bisher als N-haltige Bausteine bekannt geworden ist, war das Cholin und das Glukosamin, und zwar trafen wir diese in Verbindungen, in denen immer nur ein Komponent oder Baustein N-haltig war, an. Dies ist bei den Eiweißkörpern aber nun insofern etwas anders, als sämtliche Bausteine Stickstoff führen, wozu noch gelegentlich Schwefel und Phosphor treten können, wir haben in dieser Feststellung ein kennzeichnendes Merkmal für die Natur der Eiweißkörper gefunden. Desgleichen ist ihnen außerdem die kolloide Beschaffenheit, von der noch eingehend die Rede sein wird, eigentümlich. Trotz dieser Kenn-

zeichen fällt es nicht leicht, eine allgemein befriedigende und allen Verhältnissen entsprechende Begriffsumgrenzung für die Eiweißstoffe zu finden, und zwar ist dies aus dem Grunde ein recht schwieriges Unterfangen, weil die Anzahl der Proteine nicht nur unendlich groß ist, sondern weil auch ihre Eigenschaften, gerade so wie die Zustände, in der sie in der Natur vorkommen, sehr wechselnder Art sind. Sowohl in flüssiger Form, als auch in scheinbarer Lösung oder im zähflüssigen oder halbfesten Zustande und auch völlig starr treten sie uns entgegen. Flüssige Proteine liegen z. B. in der Milch und im Blutplasma vor, und es vermögen derartige Flüssigkeiten nicht zu diffundieren, wodurch sie sich als Kolloide zu erkennen geben. Auch das Koagulationsvermögen vieler Eiweißstoffe beim Erhitzen spricht für ihre Kolloidnatur. Beim Leim liegen die Verhältnisse allerdings etwas anders, denn er ist bekanntlich bei gewöhnlicher Temperatur eine feste Substanz, die beim Erwärmen mit Wasser sich löst. Aus solchen scheinbaren Lösungen werden die Eiweißkörper auf Zusatz von Salzlösungen, namentlich Metallsalzen, ausgeflockt, ausgesalzen, und zwar in Gestalt gelatineartiger Substanzen oder grober Aggregate. Halbfeste, zähflüssige Eiweißverbindungen sind uns dann im Eiereiweiß allgemein bekannt, aber auch hier handelt es sich um eine kolloide Verteilung (Dispersion). Feste Proteine haben wir in den Keratin-Arten zu erblicken. Hörner, Geweihe, Hufe, Nägel, Haare u. dergl. bestehen nämlich aus Keratin.

Während wir also in den soeben aufgezählten äußeren Eigenschaften der Eiweißstoffe eine starke Verschiedenheit erkennen müssen, liegt doch im Grundplan des chemischen Aufbaus eine große Gleichartigkeit vor, wofür u. a. besonders spricht, daß bei Behandlung der Eiweißstoffe mit rauchender Salzsäure oder 25prozentiger Schwefelsäure bei Siedetemperatur unter Aufnahme von Wasser ein Zerfall des Eiweißmoleküls in einfachere Teilstücke erfolgt und daß diese Bruchstücke Aminosäuren sind. Aber nicht nur allein auf rein chemischem Wege findet eine solche Aufspaltung statt, sondern genau so wie wir es für die zusammengesetzten Kohlehydrate und auch für die Fette erkannt haben, wird vermittels gewisser Fermente der hydrolytische Abbau des Eiweißmoleküls durchgeführt. Proteasen oder proteolytische Fermente heißt man sie. Auf Grund der soeben kurz dargelegten Verhältnisse gelangt man mit Emil Abderhalden zu nachstehender Definition der Eiweißstoffe, die mit Recht die Anteilnahme der Aminosäuren am Aufbau des Eiweißmoleküls in den Vordergrund stellt: „Die Eiweißstoffe sind hochmolekulare, zusammengesetzte, nur im kolloiden Zustand — in allen seinen Abstufungen vom festen Zustand bis an die Grenze der wahren Lösung — bekannte Verbindungen, an deren Aufbau in charakteristischer Weise untereinander verknüpfte Aminosäuren beteiligt sind. Diese organischen

Säuren enthalten die für die Eiweißstoffe charakteristischen Elemente und Gruppen".

Ehe wir uns jedoch der Chemie der Eiweißstoffe zuwenden, erscheint es angebracht, der Fermente, auf die wir soeben wieder hinweisen mußten, zu gedenken. Wir haben schon oftmals, namentlich bei den Zuckerarten, von Fermenten und fermentativer Spaltung gesprochen, ohne eine Erklärung ihres Wesens und die ihrer Wirkungen zu geben. Schon bei der Spaltung der Kohlehydrate haben wir dargetan, daß ein solcher Vorgang nicht nur unter Einwirkung von Säuren beim Kochen erfolgt, sondern auch unter dem Einfluß ungeformter Fermente oder Enzyme zur Auslösung gelangt. Aber auch durch die Betätigung organisierter Fermente kann er sich in gleicher Weise vollziehen, wie uns dieses von den Gärungserscheinungen her am bekanntesten ist, bei welchen niedere chlorophyllfreie, lebende Organismen — Pilze, Bakterien — am Werke sind. Überhaupt überall dort erkennen wir die Wirksamkeit der Fermente, wo die Vorgänge des Lebens in Erscheinung treten, also gleichermaßen bei Pflanze und Tier. Die alkoholische Gärung war aber wohl die in dieser Richtung zuerst gemachte Beobachtung.

Als ungeformte Fermente sind, soweit wir sie nicht schon erwähnt haben, die Diastase des Malzes, das Emulsin der Mandel, das Myrosin des schwarzen Senfs, das Phtyalin des Speichels, das Pepsin des Magensaftes, das Invertin aus dem Hefepilz und viele andere zu nennen. Über die nähere chemische Zusammensetzung wissen wir noch nichts Genaues, da bisher kein Enzym in reinem Zustande zur Darstellung gelangt ist. Was daher von den Enzymen bekannt ist, erstreckt sich lediglich auf die Wirkung derselben, so daß wir allein aus dieser auf die stoffliche Natur besagter Körperwelt schließen können. Nur das können wir mit Sicherheit von ihnen aussagen, daß sie Katalysatoren sind, die von der Zelle erzeugt, als eigenartige Stoffwechselprodukte derselben zu gelten haben. Dabei dürfte ihnen, wie wir noch später erfahren werden, die kolloide Beschaffenheit besonders eigentümlich sein. In Wasser und z. T. auch in Glyzerin sind sie löslich und lassen sich durch Alkohol aus einer solchen Lösung als amorphe Körper ausscheiden. Ihrer Elementarzusammensetzung nach scheinen sie von eiweißartiger und kohlehydratartiger Natur zu sein. Beachtenswert erweist sich bezüglich ihres Auftretens der Umstand, daß das Enzym ständig in der Pflanzenzelle gemeinsam mit dem zu spaltenden Stoff vorhanden ist. In Bezug auf die Einwirkung derartiger Substanzen auf Kohlehydrate wie auf sonstige Substanzen haben wir schon erfahren, daß stets Wasser dabei gegenwärtig sein muß, denn es erfolgt, nur unter dieser Voraussetzung, wie wir wissen, die Spaltung des Disaccharids Rohrzucker in Glukose und Fruktose, oder des Polysaccharids Stärke in Maltose und

Dextrine, bezw. schließlich in Glukose, wobei eben Wasser aufgenommen wird. In welcher Weise nun aber die Fermente solche Spaltungen ausführen, oder in welcher Art sie daran beteiligt sind, darüber haben wir bisher noch nichts vernommen.

Es ist zunächst darauf aufmerksam zu machen, daß sich an den Begriff des Fermentes lediglich das Vermögen anknüpft, einen Vorgang, wie den soeben dargelegten, vollziehen zu können, aber noch nicht wie dieser Vorgang zustande kommt. Jedoch gerade dieses möchten wir erfahren. Ganz besonders erschwert wird die Beantwortung unserer Frage zunächst durch die Feststellung der merkwürdigen Tatsache, daß die Substanz, die den Vorgang auslöst, in keinerlei Art verändert wird, sondern im gleichen Zustande vor und nach dem Vollzug der Reaktion vorliegt. Da dieses der Fall ist, so müssen wir unbedingt schließen, daß das Ferment lediglich den Reaktionsverlauf beschleunigen kann, nicht aber das eigentliche Agens der Reaktion ist. In diesem Sinne ist denn auch von Wi. Ostwald der Fermentbegriff aufgefaßt worden und greift auf den Berzeliusschen Begriff eines Katalysators zurück. Katalysatoren waren aber bei Berzelius solche Körper, die „durch ihre bloße Gegenwart die schlummernden Verwandtschaften der Stoffe zu erwecken vermögen". Auf diese Weise vereinigte er aber eine große Anzahl von Erscheinungen der anorganischen und organischen Natur, die sonst getrennt betrachtet wurden, wie einerseits die anorganischen Katalysatoren (Metalle, Säuren, Laugen), andererseits die geformten Fermente. Berzelius ist es also, dem wir die heutige, sich recht fruchtbar erwiesene Einheitlichkeit in der Auffassung vom Wesen aller dieser Erscheinungen zu verdanken haben.

Demzufolge erweist sich die Inversion des Rohrzuckers durch Säuren oder durch Metall ganz gleich der Invertasewirkung, die Umwandlung von Äthylalkohol in Essigsäure durch den Pilz *Mycoderma aceti* ist der durch Platinkatalyse bewirkten Reaktion gleichartig, ja selbst zwischen den ungeformten und geformten Fermenten ist kein Gegensatz mehr vorhanden, nachdem Buchner gezeigt hat, daß die alkoholische Gärung auch losgelöst vom lebenden Protoplasma in Erscheinung zu treten vermag. Wir haben somit in der Metallkatalyse, der Enzymwirkung, sowie der Gärungs- und Fäulniserzeugung durch Mikrobentätigkeit nur eine graduelle Verschiedenheit ein und desselben Vorganges zu erblicken. Einen weiteren Schritt zum Verständnis der Fermentreaktionen hat Wilh. Ostwald herbeigeführt, als er die Gesetze der Reaktionskinetik auf die als Reaktionsbeschleuniger dienenden Katalysatoren für gültig erklärte. Damit erhielten die Fermentreaktionen aber den Charakter von scharf gekennzeichneten, meß- und berechenbaren Größen, was für die Physiologie von unschätzbarer Bedeutung war.

Zum besseren Verständnis des soeben Mitgeteilten erscheint es jedoch wohl angebracht, den Gang einer derartigen Reaktion durch ein geeignetes Beispiel zu erläutern.

Wir haben vernommen, daß der in Wasser gelöste Rohrzucker sowohl durch Invertase als durch Säuren in Glukose und Fruktose umgewandelt wird. Die H-Ionen sind es also, die sich in ihrer Wirkung gleich der des Fermentes Invertase verhalten. Ein Erwärmen unterstützt den Vorgang der Inversion durch Säuren, aber auch längeres Erhitzen ohne Säurezusatz führt zu dem gleichen Ergebnis, wenn auch viel langsamer, so daß dem Katalysator Wasserstoff nur eine Beschleunigung der Reaktion beigemessen werden kann, denn die Reaktion würde ja auch an und für sich zustande gekommen sein, wenn auch nur viel langsamer verlaufend. Bei dem ganzen Vorgang ändert sich aber in keiner Weise der Katalysator, denn vor und nach der Reaktion ist die gleiche Säuremenge, bezw. Wasserstoffionenkonzentration vorhanden.

Der Katalysator beschleunigt also nur eine an sich freiwillig erfolgende Reaktion, ohne selbst dabei eine Veränderung zu erleiden, und er kann infolgedessen auch keine Energie abgeben, um das chemische Gleichgewicht, das auch ohne seine Gegenwart zustande gekommen wäre, dauernd zu ändern. Er ist somit nichts weiter als ein Veränderer der Reaktionsgeschwindigkeit, so daß Bredig den Katalysator sehr sinnreich als das „Schmiermittel“ für eine Energie umwandelnde Maschine anspricht.

Neuere Untersuchungen haben einen noch besseren Einblick in die Verhältnisse des Fermentgeschehens ermöglicht, und wenn wir auch nicht auf Einzelheiten dieser Feststellungen eingehen können, so mögen doch die wesentlichsten Punkte hervorgehoben sein. Wie Fodor eingehend dargelegt hat, läßt sich das Fermentproblem als ein biochemisches, physikalisch-chemisches und kolloid-chemisches Phänomen behandeln. Besonders für die letztere Betrachtungsweise weist er eine weittragende Förderung nach. Sie hat zur Aufstellung von Fermentkolloidsystemen geführt. Die Fermente sind als Biokatalysatoren anzusehen, die nicht nur Beschleunigung des Reaktionsverlaufes auslösen, sondern auch die Entstehung einer biologischen Form, d. h. einer organischen Gestalt hervorrufen, welche an die Gegenwart und Kontaktwirkung bestimmter Stoffe in lebenden Gebilden gebunden sein kann. Die Fermentwirkung soll daher nicht nur die Bildung chemischer Stoffe allein zum Gegenstand haben, sondern es wird auch die Gestalt, der „anatomisch-histologisch wesentliche Bau“, „die entwicklungsmechanische Struktur“ fermentativ erzeugt. In der Inhomogenität der Gallerte des Protoplasmas, nämlich als aus einer Anzahl „gegeneinander räumlich-dynamisch durch Grenzflächen abgegrenzter Teilsysteme“ bestehender Gebilde ist nach ihm das Vermögen der Zelle zu bewerten, auf kleinstem Raum neben-

einander die verschiedensten Reaktionen, ganz im Gegensatz zu den im Reagenzglas einsinnig verlaufenden Vorgängen, hervorzubringen. Wir können somit das Wesen der Fermentreaktion unter Heranziehung kolloidchemischer Vorgänge weit besser begreifen. Diese spielen sich ab an den „elektrisch aufgeladenen Grenzflächen der protoplasmatischen Teilsysteme", und wir erkennen somit „die Funktion der Übertragung der hydrolytisch und oxydo-reduktiv wirksamen Ionen" als eine Eigenschaft der protoplasmatischen Teilsysteme.

Alles zusammengefaßt können wir mit A. Fodor die Fermente wie folgt definieren: „In physikalisch-chemischer Beziehung sind Fermente kolloidbeschaffene Produkte pflanzlicher oder tierischer Herkunft, deren Wirkungsgrad von ihrem kolloiden Zustande bedingt wird, bezw. von jenem ihrer Sole. Mit ihren Substraten bilden sie unter partieller Preisgabe ihrer Oberflächenenergie Adsorptionsverbindungen, was eine Aktivierung der für die hydrolytische Spaltung nötigen Elemente zur Folge hat." Allerdings fügt der Autor, was nicht verschwiegen sein darf, hinzu, daß sich wohl alle Fermente nicht ausnahmslos dieser Begriffsbestimmung anpassen lassen, sondern auch Variationen zu gewärtigen sind.

Für die Lebensvorgänge in Pflanze und Tier sind jedenfalls die Fermente die bedeutungsvollsten Körper, und so mußten wir ihnen schon aus diesem Grunde einige Worte widmen. Diese haben uns sicherlich dargetan, daß wir es im Fermentproblem mit einem kinetischen wie kolloidchemischen Phänomen von größter physiologischer Bedeutung zu tun haben.

Nach diesem Ausflug in das Reich der Fermente wollen wir uns nun wieder unseren Eiweißkörpern zuwenden, wobei nochmals betonend darauf hingewiesen sein möge, daß es die Aminosäuren sind, die die Bausteine der Eiweißsubstanzen abgeben, denn von dieser Tatsache werden wir als Grundlage all unserer Erörterungen über die chemische Natur des Eiweißes auszugehen haben.

Wenn Eiweißsubstanzen den tiefeingreifenden Einflüssen hydrolytischer Spaltung ausgesetzt sind, sei es durch Säuren, Alkalien, enzymatische oder fermentative Prozesse, so treten dabei, wie wir erfahren haben, stets Aminosäuren als Endprodukte des Vorganges in Erscheinung. Das besagt aber nichts anderes, als daß die Aminosäuren im Eiweiß vorhanden sein müssen, wenn auch vielleicht nicht als solche, sondern in irgend einer Form aneinander gebunden. Wir können daher die Eiweißkörper oder Proteine gewissermaßen als Kondensationsprodukte der Aminosäuren gelten lassen, geradeso wie wir z. B. die Kohlehydrate als solche von Aldehyd- oder Ketonalkoholen ansehen durften. Wollen wir uns daher über die chemische Natur des Eiweißes Rechenschaft geben, so müssen wir zuvor die Frage nach der Natur der Aminosäuren beantworten.

Ganz allgemein gesagt sind Aminosäuren organische Säuren, deren Alkylwasserstoff ein- oder mehrfach durch die Gruppe NH_2 (Aminogruppe) Ersatz gefunden hat. Dies gilt sowohl für die α-Amino-Karbonsäuren der Fettsäurereihe, wie auch für die aliphatischen Amino-Dikarbonsäuren, die als Spaltprodukte des Eiweißes bekannt geworden sind, während es sich bei einigen gewissen anderen Spaltprodukten zyklischen Charakters um etwas andere, wenn auch nahe verwandte Bildungen handelt.

Wenden wir uns aber nochmals dem hydrolytischen Abbau der Eiweißkörper durch Enzyme zu, so dürfen wir nicht etwa annehmen, daß durch diesen Vorgang die Endprodukte genannter Art sofort zum Vorschein kommen, sondern es werden vielmehr erst Zwischenprodukte wenig spezialisierter Art gebildet, die wir als Albumosen und Peptone bezeichnen. Wir erkennen in diesem Abbau abermals eine Analogie zu dem Abbau der Polysaccharide, so z. B. der Stärke, wo die Dextrine als Zwischenstufen auftreten. Hier wie dort haben wir es mit biologisch, nicht aber mit chemisch wohlcharakterisierten Substanzen zu tun. Zwischen Albumosen und Peptonen besteht insofern ein Unterschied, als sich erstere durch Ammonsulfat, letztere aber nicht durch dieses Salz niederschlagen lassen. Auch sind die Peptone nicht etwa als Abbaustoffe der Albumosen anzusehen, der Unterschied beider Körperklassen liegt vielmehr in der Beteiligung verschiedener Aminosäuren an ihrem Aufbau. Der Eiweißabbau vollzieht sich überhaupt in der Weise, daß aus den Albumosen einzelne Aminosäuren hervorgehen und sich aus dem übrigbleibenden Rest wiederum solche ausscheiden, bis endlich das ganze Molekül in Aminosäuren zerlegt worden ist.

Wie Emil Fischer vermittels der Methode fraktionierter Destillation gezeigt hat, können auch die einzelnen Bausteine des Eiweißmoleküls zur Isolierung gebracht werden. Es ist ihm aber auch andererseits gelungen, eine Wiedervereinigung von Aminosäuren zu vielgliederigen Komplexen durchzuführen. Die auf diese Weise synthetisch aufgebauten Körper nannte er Polypeptide, sie haben wesentlich zum Verständnis der Zusammensetzung des Eiweißes beigetragen, und wir werden noch Gelegenheit haben, auf sie zurückzukommen. Emil Fischer nahm an, daß die Verknüpfung der einzelnen Aminosäuren zu Polypeptiden auf dem Wege einer säureamidartigen Verbindung, von der noch die Rede sein wird, zustande kommt. Allerdings hat sich neuerdings gezeigt, daß diese Annahme nicht die einzig mögliche ist.

Die meisten Aminosäuren, mit denen wir es zu tun haben, erweisen sich als sog. α-Aminosäuren, d. h. es sind solche, deren NH_2-Gruppe in α-Stellung zur Säure- bezw. Karboxyl-Gruppe steht.

Essigsäure ist $CH_3 \cdot COOH$, die zugehörige Aminosäure ist $\begin{matrix} CH_2 \cdot COOH \\ | \\ NH_2 \end{matrix}$,

Propionsäure ist $CH_3 \cdot CH_2 \cdot COOH$, ihre Aminosäuren können dagegen sein: $CH_3 \cdot \underset{\underset{NH_2}{|}}{CH} \cdot COOH$ oder $\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH_2} \cdot CH_2COOH$, erstere ist die α-Aminopropionsäure oder das Alanin, letztere die β-Aminopropionsäure. Das der Karboxylgruppe zunächst gelegene Alkyl-C-Atom ist das α-C-Atom und damit die in diesem Alkyl vorhandene Aminogruppe eine α-Aminogruppe. Wie ersichtlich, lassen sich also diese Aminosäuren unmittelbar von den verschiedensten Gliedern der Fettsäurereihe durch Ersatz eines Alkylwasserstoffatoms mit der Gruppe NH_2 ableiten. Da aber die Fettsäuren auch Bestandteile der Fette sind, so nehmen wir auf diese Weise schon gewisse verwandtschaftliche Beziehungen zwischen Fetten und Eiweißsubstanzen ohne weiteres wahr.

Von den Fettsäuren ist die Ameisensäure bekanntlich die einfachste, d. h. das Anfangsglied der ganzen langen Reihe. $H \cdot COOH$ ist ihre Formel und demnach müßte, wenn wir in der soeben gedachten Weise vorgehen, die Aminoameisensäure $NH_2 \cdot COOH$ die einfachste Aminosäure sein. Das ist auch der Fall, aber als Bestandteil oder Baustein der Eiweißkörper kommt sie nicht in Frage, wohl schon allein aus dem Grunde, weil sie eine sehr leicht zersetzliche Substanz ist und sich daher als solche nicht existenzfähig erweist. Dagegen ist das Ammoniumsalz dieser Verbindung bekannt, nämlich das karbaminsaure Ammonium von der Formel $NH_2 \cdot COONH_4$. Diese Verbindung spielt beim Abbau der Aminosäuren bezw. Eiweißstoffe im Tierorganismus eine große Rolle. Auch mag erwähnt sein, daß das Stoffwechselendprodukt dieses Vorganges der dem karbaminsauren Ammonium nahestehende Harnstoff $CO\langle^{NH_2}_{NH_2}$ oder Karbamid ist.

Als einfachster Eiweißkomponent tritt die nächst höhere Homologe auf, d. i. also, wie wir schon wissen, die Aminoessigsäure, die auch Glykokoll genannt wird. Sie trägt außerdem die Bezeichnung Glyzin oder Leimsüß und kommt neben Leuzin, das wir alsbald auch als eine Aminosäure kennen lernen werden, im Leim und im Muskelfleisch vor, aus welchen Stoffen sie zumeist gewonnen wird. Auch im Harn ist sie, wenn auch nur wenig, vorhanden. In Wasser ist sie ziemlich leicht löslich und von süßem Geschmack. Sie gibt wie alle bekannten Aminosäuren in wässeriger Lösung mit Kupferoxyd erhitzt ein Kupfersalz, und diese Kupfersalze können, da sie von verschiedener Löslichkeit sind, zur Trennung der Aminosäuren benutzt werden.

An die Aminoessigsäure schließt sich als nächste Homologe die Aminopropionsäure $C_2H_4NH_2 \cdot COOH$ an, von der zwei Isomere auftreten können, je nach dem Ersatz des einen H-Atoms in der CH_3- oder CH_2-Gruppe. Die α-Aminosäure hat aber, wie wir schon wissen, nur für uns Interesse. Wir nannten sie Alanin, und da sie ein asymmetrisches

C-Atom, nämlich das in α-Stellung befindliche, besitzt, so ist sie optisch aktiv. Auch sie ist süß und löslich in Wasser und wurde als ein Komponent oder Baustein der Seide ermittelt. Was sich nun aber für uns am wichtigsten erweist, ist der Umstand, daß sich von diesem Aminokörper eine ganze Anzahl anderer Aminosäuren ableiten lassen. Zwar sind sie nur als Bestandteile des Tierkörpers bekannt, aber um uns die grundlegenden Kenntnisse der Eiweißbausteine zu verschaffen, müssen wir dennoch auf sie Rücksicht nehmen.

Treten z. B. am β-Atom an Stelle eines H-Atoms die OH- oder SH-Gruppe, so erhält man im ersteren Falle die α-Amino-β-oxypropionsäure, eine Substanz, die Serin heißt und im Seidenleim und im Schweiß vorkommt, während durch Eintritt der SH-Gruppe die α-Amino-β-thiopropionsäure, das sog. Cystein resultiert. Nachstehend geben wir die Formeln dieser Verbindungen wieder, indem wir sie der Muttersubstanz Alanin gegenüberstellen:

CH_3	$CH_2 \cdot OH$	$CH_2 \cdot SH$
$CH \cdot NH_2$	$CH \cdot NH_2$	$CH \cdot NH_2$
$COOH$	$COOH$	$COOH$
Alanin	Serin	Cystein

Jedoch das Cystein ist nicht beständig, sondern geht leicht durch Oxydation in die Di-α-amino-β-thiopropionsäure oder das Cystin über. Dieser Körper wird folgendermaßen zum Ausdruck gebracht:

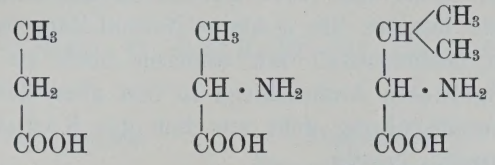
$$\begin{array}{ll} CH_2S \cdot SCH_2 & \\ | \quad\quad | & \\ CH\,NH_2 \quad CHNH_2 & \\ | \quad\quad | & \\ COOH \quad COOH & \end{array}$$

Er sei besonders aus dem Grunde hervorgehoben, weil er vermutlich die Verbindung des Eiweißes ist, die den Schwefel der Eiweißkörper enthält. Auch im pflanzlichen Organismus kommt das Cystin vor. Es mag auch noch erwähnt sein, daß das Cystin durch weitere Oxydation in die Cysteinsäure und diese durch Abspaltung von Kohlensäure in Taurin, eine wichtige Gallen- und Nierensubstanz, übergeht.

Von der Aminopropionsäure gelangen wir durch Hinzutritt einer weiteren CH_2-Gruppe fortschreitend zur Aminobuttersäure. Der α-Körper $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH \cdot NH_2 \cdot COOH$ ist aus dem Lupinensamen gewonnen worden. Noch weiter fortschreitend gelangen wir zu den Amino-Valeriansäuren. Hier ist es das Valin der Keimlinge, das wir zu berücksichtigen haben, es ist die α-Amino-isovaleriansäure von der Formel:

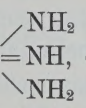
$$\begin{array}{l} CH_3 \\ CH_3 \end{array} \!\!\rangle CH \cdot \underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} \cdot COOH$$

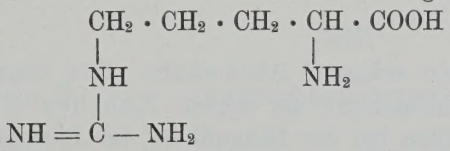
Jedoch wir sind ebensogut imstande, sie als ein Derivat des Alanins aufzufassen, und zwar als die α-Amino-β-dimethylpropionsäure, wie dieses leicht aus folgender Gegenüberstellung hervorgeht.



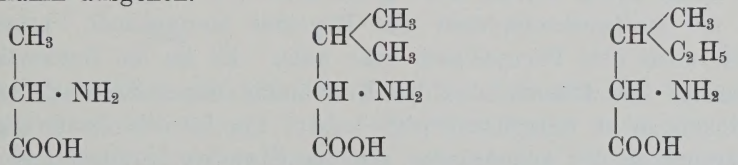
Propionsäure Alanin Dimethylalanin

Andererseits sind auch von der normalen Valeriansäure ableitbare Aminosäuren für die Eiweißstoffchemie von großer Bedeutung, doch sind sie viel komplizierter aufgebaut, als z. B. das bekannte, vielverbreitete Arginin, das sich als ein Guanidin-Derivat der n-Valeriansäure darstellt.

Das Guanidin oder Imidoharnstoff ist  , die n-Valeriansäure $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$ und somit das Arginin:

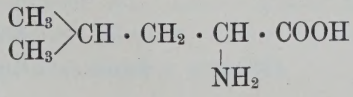


Von den nun folgenden Aminokapronsäuren sind die beiden wichtigen Substanzen Leuzin und Isoleuzin zu nennen. Jedoch wir können auch zur Kennzeichnung des letzteren Körpers wieder, wie folgt, vom Alanin ausgehen.



Alanin = α-Aminopropionsäure Valin = α-Amino-β-Dimethylpropionsäure Isoleuzin = α-Amino-β-Äthyl-Methyl-Propionsäure.

Felix Ehrlich hat das Isoleuzin in der Rübenmelasse aufgefunden, und wir werden noch bei anderer Gelegenheit auf dasselbe zurückzukommen haben. Da dieser Körper zwei asymmetrische C-Atome besitzt, so kommt er in zwei stereoisomeren Formen vor. Das natürlich vorkommende Isoleuzin ist rechtsdrehend. Das Leuzin ist demgegenüber, obschon Abkömmling der Kapronsäure, die α-Amino-β-Isopropyl-Propionsäure, kann aber auch als Derivat der Isobutylessigsäure gelten und gehört zu den am häufigsten anzutreffenden Aminosäuren.



Von weiteren sich von der normalen Kapronsäure ableitenden Aminosäuren seien hier noch angeführt das in den Keimpflanzen der Lupine entdeckte Lysin, ferner das Norleuzin, von denen das erstere eine Diaminosäure, das letztere die α-Amino-Normal-Kapronsäure ist. Das Lysin kommt in Gemeinschaft mit anderen noch zu besprechenden, komplizierter aufgebauten Aminosäuren in fast allen Eiweißstoffen vor. Durch Kohlensäureabspaltung geht aus ihm das Kadaverin, ein bekanntes „Leichengift", hervor.

Damit sind wir aber noch keineswegs am Ende der Besprechung und Aufzählung der Aminosäuren, denn worauf wir schon kurz hingewiesen haben, gibt es außer den aliphatischen, auch aromatische und heterozyklische Verbindungen dieser Art. Zunächst ist das Phenylalanin ein solcher Körper, der, wie schon sein Name andeutet, direkt vom Alanin abgeleitet werden kann. Ersetzt man nämlich ein H-Atom des in β-Stellung befindlichen Methyls der α-Aminopropionsäure durch den bekannten aromatischen Phenylrest C_6H_5, so gelangt man zu dem Phenylalanin, $C_6H_5 \cdot CH_2 \cdot \underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} \cdot COOH$. Auch diese Substanz ist eine in fast allen Proteinen erkannte Aminosäure. Ihre Gegenwart ist die Ursache des Zustandekommens der sogen. Xanthoproteinreaktion, die sich bekanntermaßen bei der Behandlung der Proteine mit konzentrierter Salpetersäure einstellt und durch eine Gelbbraunfärbung kund macht.

Die Hippursäure, die von Justus von Liebig im Pferdeharn zuerst aufgefunden wurde, aber ganz allgemein im Harn der Wiederkäuer als Stoffwechselprodukt des Eiweißes weitgehende Verbreitung genießt, steht dem Phenylalanin sehr nahe. Es ist die Benzoylaminoessigsäure. Wir können aber bei Erwähnung dieser Substanz gewisse Reaktionen nicht unberücksichtigt lassen, die für die Isolierung und Reindarstellung der Aminosäuren aus den Eiweißverbindungen so große Dienste geleistet haben. Trockenes Salzsäuregas wirkt nämlich auf ein Gemisch von Aminoessigsäure (Glykokoll) und Alkohol lösend ein, jedoch aus der Lösung scheidet sich nach dem Erkalten ein schön kristallisierender Körper, das Glykokollester-Chlorhydrat, aus. Körper solchen Zustandes eignen sich nun aber bevorzugt für die Abtrennung, zumal wenn die analogen Verbindungen ihrer Homologen sich in Bezug auf ihre Löslichkeitsverhältnisse abweichend zeigen, wie dies in unserem Fall der Aminosäuren zutrifft.

$$\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH_2}} \cdot COOH + C_2H_5 \cdot OH + HCl = \underset{\displaystyle NH_2 \cdot HCl}{\underset{|}{CH_2}} \cdot COOC_2H_5$$

Glykokoll — Alkohol — Salzsäure — Glykokollesterchlorhydrat.

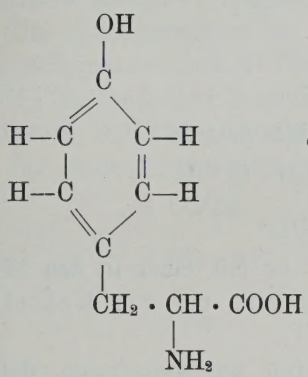
Andererseits dient die Hippursäure selber zu einer derartigen Reaktion, insofern nämlich die Aminogruppe mit Säurechloriden verschiedenster Art zusammentritt.

$$\begin{matrix} CH_2 \cdot COOH \\ | \\ NH_2 \end{matrix} + C_6H_5CO \cdot Cl = C_6H_5CO \cdot NH \cdot CH_2 \cdot COOH + HCl$$

Glykokoll — Benzoylchlorid — Hippursäure (Benzoylaminoessigsäure) — Salzsäure.

Eine weitere, sehr wichtige Aminosäure, die dem Phenylalanin nahe verwandt ist, heißt Tyrosin. Dasselbe ist nämlich das Oxyphenylalanin, und es kommt ihm die Formel $C_6H_4(OH) \cdot CH_2 \cdot \begin{matrix} CH \cdot COOH \\ | \\ NH_2 \end{matrix}$ zu,

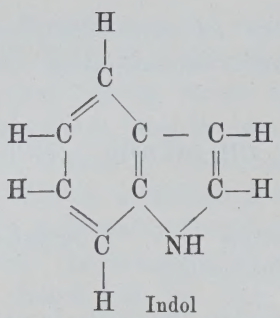
oder wenn wir zum Ausdruck bringen wollen, daß es sich um einen aromatischen Körper in Parastellung handelt:



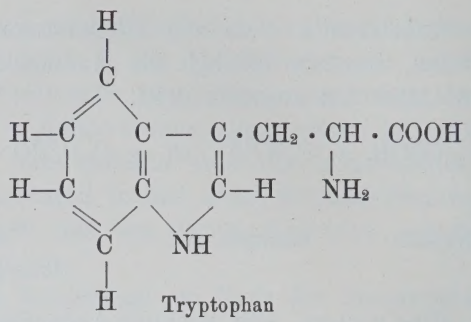
α-Amino-β-para-oxyphenylpropionsäure.

Das Tyrosin ist gleichfalls in fast allen Eiweißstoffen enthalten, es ist ein kristallisierender, durch Schwerlöslichkeit in Wasser ausgezeichneter Körper, der geschmacklos ist und die Polarisationsebene des Lichtes nach links ablenkt.

Außer dem Tyrosin haben wir noch des Tryptophans zu gedenken, doch tritt uns in dieser Substanz schon ein z. T. heterozyklischer Körper entgegen. Jedoch als ein Abkömmling des Alanins erweist er sich auch. Ein H-Atom der β-Kohlenstoffgruppe ist hier durch Indol ersetzt, so daß wir das Tryptophan als die α-Amino-β-Indolpropionsäure deklarieren können. Das Indol hat die empirische Zusammensetzung C_8H_7N und bildet in Hinsicht auf seine Konfiguration einen kombinierten Sechser- und Fünfer-Ring, in welch letzterem ein C-Atom durch die NH-Gruppe vertreten ist. Dieses ganze Ringsystem beteiligt sich also am Aufbau unseres Körpers, indem es in die in β-Stellung vorhandene Methylgruppe des Alanins eintritt:



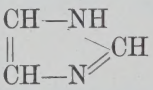
Indol



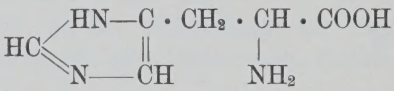
Tryptophan

Auch das Tryptophan kristallisiert und ist wenig wasserlöslich, im Geschmack ist es bitter und die natürlich vorkommende Substanz dreht links.

Schließlich müssen wir noch auf das Histidin kurz hinweisen, gleichfalls eine heterozyklische Aminosäure, in der das Imidazol derjenige Rest ist, der ein H-Atom der Methylgruppe des Alanins ersetzt. Imidazol ist der bekannte Fünfer-Ring.

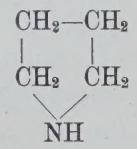


und somit das Histidin das α-Amino-β-imidazolalanin



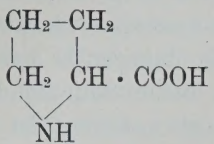
Auch in dieser Substanz haben wir es mit einer in den Eiweißstoffen weit verbreiteten Aminosäure zu tun, die von Kossel aufgefunden wurde.

Allen bisher betrachteten Aminosäuren war gemeinsam, daß wir sie von gesättigten Fettsäuren in irgendeiner Weise ableiten konnten. Sie stellten sich als Derivate dieser Säuren dar, und zwar konnten wir sie als in β-Stellung substituierte α-Aminosäuren auffassen. Jedoch nun sind auch noch andersartig aufgebaute Eiweißbestandteile bekannt geworden, die sich abermals von einem heterozyklischen Körper, aber ganz anderer Art, nämlich dem Pyrrolidin ableiten. Das Pyrrolidin erweist sich von nachstehender Konstitution:

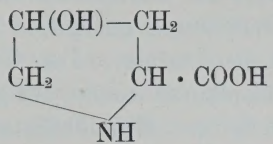


Die für uns in Frage kommenden Verbindungen sind Säuren dieser Substanz, also dementsprechend Imido- oder Iminosäuren, da nicht die Gruppe NH_2 sondern NH in ihnen enthalten ist. Das Prolin oder die Pyrrolidinkarbonsäure und das Oxyprolin oder die Oxypyrrolidin-

karbonsäure sind die beiden hier zu nennenden Körper, auf welche wir nicht näher einzugehen beabsichtigen. Als die soeben gekennzeichneten Abkömmlinge des Pyrrolidins kommen ihnen die Formeln zu:



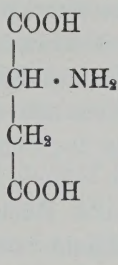
Prolin



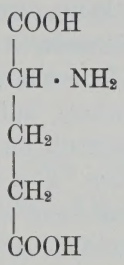
Oxyprolin

Aber auch hiermit sind die Bausteine der Eiweißstoffe noch nicht erschöpft. Alle Körper, die wir bisher als solche kennen gelernt haben, zeigten sich vom chemischen Gesichtspunkt aus betrachtet als Monokarbonsäuren, nun gibt es aber auch Dikarbonsäuren, die gerade als Komponenten des pflanzlichen Eiweißes besonders in Frage kommen. Die Asparaginsäure und ihre nächst höhere Homologe die Glutaminsäure sind es, die wir hier zu verzeichnen haben und von denen speziell die letztere ganz hervorragend am Eiweißaufbau der Pflanze beteiligt ist.

Die Asparaginsäure ist die Aminobernsteinsäure, d. h. wenn die Bernsteinsäure $C_2H_4(COOH)_2$ ist, so kommt ihr die Formel $C_2H_3(NH_2)(COOH)_2$ zu, und die Glutaminsäure $C_3H_5(NH_2)(COOH)_2$ ist die Aminoglutarsäure, ableitbar von der Formel $C_3H_6(COOH)_2$. Oder wir dürfen auch für beide Aminosäuren schreiben:

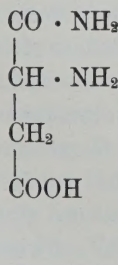


Asparaginsäure

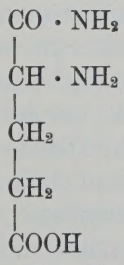


Glutaminsäure

Beide Aminosäuren sind auch noch insofern besonders wichtig, als sie in der Form von Amiden — Säureamiden — im freien Zustande in der Pflanze, unter Umständen sogar recht reichlich vorkommen, nämlich als Asparagin und als Glutamin.



Asparagin



Glutamin

Ersteres ist schon verhältnismäßig frühzeitig in den Sprößlingen des Spargels nachgewiesen worden, bis es später auch in anderen Organen der Pflanze zur Auffindung kam. Namentlich ist ja auch bekannt, daß in ohne Belichtung gezogenen Keimen eine besonders starke Ausbildung dieses Körpers erfolgt. Das Glutamin wurde dagegen in den Keimlingen der Kürbispflanze zuerst festgestellt. Ob beide Säureamide auch als Bestandteile der Eiweißsubstanzen in Frage kommen, ist noch nicht eindeutig erwiesen. Sehr interessant ist aber jedenfalls die zu erwähnende Feststellung, daß die Glutaminsäure, wenn sie auf etwa 200° erhitzt wird, unter Wasserabgabe in die schon kennengelernte Pyrrolidinkarbonsäure übergeht, d. h. wir gelangen auf diese Weise zum Prolin und Oxyprolin.

Als einen weiteren, eventuellen Baustein der Eiweißstoffe müssen wir nun noch auf einen uns schon einmal, nämlich bei den Zuckerarten entgegengetretenen Körper hinweisen. Es ist das Glukosamin. Wir haben es schon dort als eine Brücke von den Kohlehydraten zu den Eiweißverbindungen erwähnt. Namentlich ist es in den Muzinen, das sind besonders eigenartige Proteine, erkannt worden. Wir können unsere chemischen Erörterungen über die stickstoffhaltigen Bausteine der Eiweißsubstanzen aber nicht schließen, ohne des Ammoniaks zu gedenken, das bei dem hydrolytischen Abbau derselben oftmals und sogar nicht untergeordnet auftreten kann, vermutlich erweist es sich als Spaltungsprodukt des soeben beschriebenen Asparagins und Glutamins.

Damit haben wir uns genügend über die das Eiweiß aufbauenden Substanzen unterrichtet, auf Grund welcher Kenntnis wir auch imstande sein werden, die vermutliche Zusammensetzung des komplizierten Eiweißmoleküls zu verstehen. Aber gerade aus diesem Grunde war es notwendig, verhältnismäßig eingehend auf obige Verhältnisse Rücksicht zu nehmen.

Wir haben vernommen, daß eine große Anzahl verschiedener Aminosäuren aus Eiweißstoffen mannigfachster Art gewonnen werden kann. Jedoch mit dieser Feststellung allein ist in Bezug auf die chemische Beschaffenheit des Gesamtmoleküls der Eiweißstoffe noch nicht viel ausgesagt. Einmal können die einzelnen Eiweißverbindungen ihren Unterschied gegeneinander dadurch erhalten, daß die sie zusammensetzenden Aminosäuren verschieden sind, andermal aber dadurch, daß die Verschiedenheit nur durch die wechselnde Anteilnahme gleicher Aminosäuren der Menge nach bedingt wird. Die Methoden zur Erlangung diesbezüglicher Einsicht, d. h. die der Gewinnung der einzelnen Aminosäuren aus dem Proteinmolekül können wir hier nicht besprechen, jedoch wollen wir nicht unterlassen darauf hinzuweisen, daß es für einzelne Aminosäuren gut ausgearbeitete Nachweismöglichkeiten gibt. Trotz alledem ist die Aufgabe, die hier zu lösen ist, eine sehr schwierige, und hat u. a. die Veresterungsmethode besonders aufklärend gewirkt. Namentlich

durch sie konnte das wichtige Ergebnis gewonnen werden, daß abgesehen von geringen Ausnahmen in den verschiedenartigen Eiweißstoffen dieselben Aminosäuren vorkommen, ihr Unterschied beruht somit auf dem verschiedenen Mengenverhältnis der Aminosäuren. Aber auch diese Feststellung, so wertvoll sie an und für sich auch ist, genügt uns nicht zur Klärung der Sachlage, denn wir wissen damit noch nicht, wie die einzelnen Aminosäuren unter sich im Zusammenhang stehen, d. h. wie sie untereinander im Eiweißmolekül verbunden sind.

Emil Fischer hat diese entscheidende Frage experimentell zur Beantwortung gebracht, und zwar schlug er, da die Abbaumethode nicht zum Ziele führte, den umgekehrten Weg der Synthese ein, der allerdings nur zu Analogieschlüssen berechtigt, denn für die auf diese Weise erhaltenen Substanzen mußte noch der Nachweis erbracht werden, daß sie mit den Eiweißstoffen selbst identisch sind. Er verknüpfte zwei oder auch mehrere Aminosäuren derartig miteinander, wie uns dieses schon von einigen anderen Substanzen bekannt ist, so z. B. von den Säureamiden, indem die Karboxylgruppe der einen Aminosäure mit der Aminogruppe der anderen Aminosäure in sogen. säureamidartiger Bindung, $CO \cdot NH_2$, zusammentreten oder wie bei der uns gleichfalls bekannt gewordenen Hippursäure, in der eine säureimidartige Kuppelung $CO \cdot NH$ vorhanden ist. Wir wollen uns diesen Zusammentritt zweier Aminosäuren am einfachstmöglichen Beispiel klar machen, indem wir zwei Moleküle Aminoessigsäure (Glykokoll) sich zu einer Verbindung unter Wasseraustritt verketten lassen:

$$HOOC \cdot CH_2 \cdot NH\boxed{H + HO}OC \cdot CH_2 \cdot NH_2$$
$$= HOOC \cdot CH_2NH \cdot CO \cdot CH_2 \cdot NH_2 + H_2O.$$

Der neu entstandene Körper heißt Glyzil-glyzin von Glykokoll = Glyzin, eine Nomenklatur, welche für die verschiedenartigsten Aminosäuren Anwendung gefunden hat, so daß z. B. Leuzylalanin der in analoger Weise aus Leuzin und Alanin entstandene Körper ist. Treten mehrere Aminosäuren derartig zusammen, so gelangt man zu einer durch mehrere säureimidartige Bindungen ausgezeichneten komplizierteren Substanz gleichartigen Charakters. Wir können und wollen hier nicht auf weitere Beispiele besagter Art eingehen, weil es uns viel zu weit führen würde. Es mag genügen, in einfachster Weise auf die benutzte Methode der Aminosäurenverkettung hingewiesen zu haben. Die Körper aber, die durch diesen Vorgang bei Heranziehung mehrerer Aminosäuren erhalten wurden, sind von Emil Fischer als Polypeptide bezeichnet worden. Je nach der Anzahl der beteiligten Aminosäuren spricht man aber im Einzelfall von Di-, Tri-, Tetra- usw. Peptiden, ganz entsprechend der uns schon bekannten Polysaccharid-Einteilung.

Daß aber die auf diese Weise zustande kommenden Polypeptide sehr verschiedener Art und Zusammensetzung sein werden, und daß sie vor allen Dingen äußerst kompliziert erscheinen, braucht in Hinblick auf die angeführten Aminosäuren wohl nicht erst betont zu werden, zumal wenn man bedenkt, daß auch die iso- und heterozyklischen Abkömmlinge in gleicher Weise beteiligt sein können.

Wenn somit auch festgestellt worden ist, daß in den Polypeptiden Verbindungen mehrerer Aminosäuren von bestimmter Struktur und Bindung vorliegen, und man aus ihnen durch Wasserzufuhr gleich wie bei der Hydrolyse der natürlichen Eiweißstoffe die freien Aminosäuren gewinnen kann, so ist damit noch nicht der Beweis einer Identität der Polypeptide und Proteine erbracht, auch dann nicht, wenn, wie es der Fall ist, die Polypeptide in ihren Eigenschaften mit denen der Peptone bis zu einem gewissen Grade übereinstimmen. Auch ist es bisher nicht gelungen, aus den Eiweißstoffen oder ihren Abbaustufen den Polypeptiden völlig gleichende Produkte auszuscheiden, aber es hat sich doch zeigen lassen, daß es Peptone gibt, die den Polypeptiden hinzuzurechnen sind und daß das Proteinmolekül säureamidartige Verkuppelung von Aminosäuren aufweist. Auch konnten Polypeptide aus dem Eiweiß durch Hydrolyse erhalten werden, so daß, wenn auch nicht völlige Gleichheit, so doch mindestens große Ähnlichkeit genannter Körper als erwiesen anzusehen ist.

Für die amidartige Verknüpfung der Aminosäuren im Eiweißmolekül spricht, daß das Eiweiß in wässeriger Lösung nahezu neutral ist, aber mit Säuren und Basen Salze zu bilden vermag. Nun bietet die besagte Verbindungsart aber die einzige Möglichkeit, den Doppelcharakter der Aminosäuren wie des Eiweißes zu wahren, denn wären die Aminosäuren im Eiweiß mit den Aminogruppen verknüpft, so würden die freien Säuregruppen dem Eiweiß einen sauren Charakter verleihen, und würde die Bindung umgekehrt an der Karboxylgruppe stattfinden, so würde das Eiweiß als Base fungieren. Daß aber neben dieser „Peptidbindung“ noch andere angenommen werden, sei hier nur erwähnt.

Wir möchten jedoch nochmals die Aufmerksamkeit auf die Anzahl der möglichen Polypeptide lenken, um damit eine Vorstellung von der so außerordentlichen Mannigfaltigkeit im Aufbau des Eiweißmoleküls zu erwecken. Wir können und wollen hiermit nur zum Ausdruck bringen, daß es geradezu eine Unmöglichkeit bedeutet, das Eiweißmolekül ganz und voll zu entschleiern. Bei der Annahme der Beteiligung von zehn verschiedenen Aminosäuren am Aufbau eines Polypeptids gelangen wir nach Emil Abderhaldens Berechnungen zu der stattlichen Anzahl von 3628800 strukturisomeren Angaben unter der Annahme, daß nur jede Aminosäure einmal vertreten ist. Bei 20 verschiedenen Aminosäuren wird diese Zahl zu einer 19stelligen. Unter Rücksichtnahme auf

die bisher in Frage zu ziehenden Bindungsmöglichkeiten hat Emil Fischer die Zahl der isomeren Verbindungen auf mehr denn 1000 Quadrillionen berechnen können. Wir wollen diesen Zahlengrößen keine weiteren Erörterungen folgen lassen, sie sagen in deutlicher Weise genug über die Vielseitigkeit des Eiweißmoleküls aus.

Den Abbau des Eiweißmoleküls haben wir uns derartig vorzustellen, daß unter Wasseraufnahme einfacher zusammengesetzte Bruchstücke entstehen. Sie kommen vermutlich auf die Weise zustande, daß eine oder mehrere der säureamidartigen Verkettungen gelöst werden und sich somit einerseits eine Aminogruppe, andererseits die Karboxylgruppe bildet, also Aminosäuren zur Entstehung gelangen. Wir werden dementsprechend mit immer kleiner werdenden Teilstücken oder Gliedern der langen Eiweißkette je nach Fortschritt und Dauer des Abbaus zu rechnen haben. Die Peptone stellen sich als ein Gemisch solcher Abbaustufen vom Charakter der Polypeptide dar. Proteasen oder proteolytische Fermente und Peptasen oder peptolytische Fermente sorgen in der Natur für den Vollzug dieses Vorganges. Da aber die Fermente sehr feinfühlend nur auf bestimmte Substrate reagieren und diese abbauen, so ist es sehr leicht möglich, daß es für einzelne Organe, ja, für besondere Zellen sogen. „arteigentümliche" Eiweißstoffe gibt, wie dies von einigen Forschern angenommen wird.

Nunmehr müssen wir uns auch noch den Eigenschaften der Eiweißstoffe zuwenden. Aber wir haben hierüber nicht nur allein Aufschluß zu geben, wir müssen uns auch in der Fülle der in der Natur auftretenden Proteine zurechtzufinden suchen und demnach eine Einteilung der Eiweißstoffe auf Grund ihrer Zusammensetzung, ihres Vorkommens und ihrer Verbreitung vornehmen. Dabei wird es wieder einmal nicht ganz zu umgehen sein, daß wir auch bis zu einem gewissen Grade der Eiweißstoffe des tierischen Organismus gedenken, denn wie wir schon gehört haben, nehmen gerade die Eiweißkörper bevorzugten Anteil am Aufbau und im Stoffwechsel des Tierkörpers.

Wir haben die Eiweißstoffe oder Proteine als aus Aminosäuren zusammengesetzte, kolloide Körper bezeichnet, um damit ihre charakteristischsten Merkmale zum Ausdruck zu bringen. Die Aminosäurenatur sowie die sonstigen Eigenschaften in chemischer Hinsicht haben wir gebührend hervorgehoben, doch der kolloiden Beschaffenheit bezw. dem kolloiden Zustand sind wir noch nicht näher getreten. Es wird sich nunmehr empfehlen, wenn es nicht sogar als geboten erscheinen muß, uns darüber zu verständigen, was es für eine Bewandtnis mit den als kolloid oder kolloidal bezeichneten Substanzen hat, um so mehr als wir schon im Verlauf unserer Darlegungen oftmals Gelegenheit hatten, dieses Zustandes der Materie Erwähnung zu tun, ohne auf seine Eigenart aufmerksam zu machen. Selbstverständlich kann es sich hier nur um die

Erörterung dieser für die Physiologie und Agrikulturchemie gleich wichtigen kolloidchemischen Fragen in ihren allgemeinsten Grundzügen handeln. Ein weiteres Eingehen verbietet uns schon der zur Verfügung stehende Raum, aber immerhin müssen wir von den in Rede stehenden Verhältnissen soviel erfahren, als für das Verständnis der allgemeinen Sachlage notwendig ist.

Ehe wir die Frage zu beantworten suchen, was ein Kolloid oder ein kolloider Körper ist, wollen wir eine andere Frage zu lösen trachten, nämlich die, was verstehen wir unter einer Lösung? Denn wir werden auf diesem Wege leichter zum Ziel gelangen.

Mit Recht sagt der bekannte Kolloidforscher Zsigmondy von der Lösung: „Der Begriff Lösung ist einer der vielen, deren Umfang früher gegeben ist als ihr Inhalt". Diese Worte kennzeichnen in zutreffender Weise die vorliegenden Verhältnisse und sie sollen daher als Einleitung zu unseren Ausführungen gewählt sein.

Im allgemeinen versteht man unter Lösung den gleichmäßigen Verteilungszustand eines Körpers in einer Flüssigkeit, also etwas in allen seinen Teilen Homogenes, so daß man auch wohl mit Wi. Ostwald und Nernst von einem homogenen Gemenge, von einem physikalischen Gemisch oder von einer homogenen Phase reden kann. Jedoch seit den Untersuchungen van't Hoffs sieht man als typische Eigenschaften der Lösungen nur solche an, die den wahren, eigentümlichen Lösungen, nämlich solchen kristalloider Natur zukommen. Von den kennzeichnenden Eigenschaften der wahren Lösungen ist in erster Linie auf die Diffusionsfähigkeit derselben, auf die Ausübung des osmotischen Druckes und das Kristallisationsvermögen der in ihnen gelösten Substanz hinzuweisen.

Eine solche Lösung wie die letztere vermögen die Kolloide nun nicht zu geben, denn es handelt sich in ihnen nur um scheinbare Lösungen oder „Pseudolösungen", und sie stehen damit im scharfen Gegensatz zu den „echten Lösungen". Jedoch bei näherer Betrachtung verliert dieser Gegensatz an Schärfe, indem es sich nämlich zeigt, daß der Unterschied, wie schon der Name Pseudolösung verrät, nur gradueller Art ist. Mit einer Lösung haben wir es hier allerdings gleichfalls zu tun, aber der Grad der Homogenität ist ein anderer, ein weniger stark ausgesprochener, wenn man so sagen darf.

Eine Eigenart der Kolloide ist ihr Adsorptionsvermögen, und wir wollen hieran anknüpfen, um uns die Natur der Kolloide verständlich zu machen. Die Adsorptionsvorgänge werden durch Oberflächenkräfte, die aufs innigste mit Oberflächenspannungen zusammenhängen, ausgelöst. Unter Adsorption haben wir die Fähigkeit der Oberflächen zu verstehen, sich gegen Stoffe, die in die Gesamtmasse hineingelangen, anders zu verhalten, als die nicht zur Oberfläche gehörige innere Masse. Es kann

sich somit der neu hinzutretende Stoff in der Oberfläche anhäufen, und man spricht dann von positiver Adsorption; er kann sich aber auch in der Oberfläche in geringerer Menge als in der übrigen Masse ansammeln, was man dann als negative Adsorption zu bezeichnen pflegt. Öltröpfchen oder Seifenlösungen, die in eine große Wassermenge gebracht werden, zeigen z. B. solche Adsorptionserscheinungen. Es handelt sich also um Grenzoberflächenvorgänge, d. h. Erscheinungen, die sich an der Grenze der verschiedenen Aggregatzustände der Materie abspielen, nämlich dort, wo z. B. fest-flüssige, gas-flüssige, gas-feste, flüssig-feste Zustände miteinander in Berührung geraten. Solche Adsorptionsvorgänge hat man zuerst bei solchen Körpern erkannt, die als eine Verteilung von festen Stoffen in flüssigen zu gelten haben, wie sie in den sogen. Suspensionen vorliegen. Oder wenn wir uns wissenschaftlicher ausdrücken wollen, haben wir zu sagen, die Adsorptionen treten bei solchen Systemen in Erscheinung, bei denen durch weitgehende Aufteilung, oder wie Wo. Ostwald es genannt hat, Dispersion des suspendierten Stoffs, die Grenzflächenentfaltung zwischen disperser Phase und Dispersionsmittel eine besonders große ist.

Denkt man sich nun aber bei einem suspendierten Stoff die Aufteilung oder Zerteilung weiter fortgesetzt, so gelangt man von den Suspensionen, die sich als noch mehr oder weniger ma- oder mikroskopisch sichtbar erweisen, zu den kolloiden Lösungen oder Solen, bei welchen der Verteilungszustand durch gewöhnliche Mittel nicht mehr erkennbar ist. Wir erkennen hieraus ohne weiteres, daß es sich um einen Übergang von den Suspensionen zum Solzustand handelt, also nur ein gradueller Unterschied zwischen jenen und diesen besteht. Die Sole sind disperse Systeme solcher Art, daß man in ihnen ihre Ungleichartigkeit — Heterogenität — nur noch mit ganz besonderen optischen Mitteln zu erbringen vermag, die Vergrößerung des Mikroskopes reicht hierfür nicht mehr aus. Um uns einen Begriff von der Natur eines Soles in seinen äußeren Eigenschaften zu machen, möge hier an die bekannte Fällung des Eisens durch Ammoniak als Oxydhydrat aus einer Eisensalzlösung erinnert werden. Gibt man nämlich zu einer Ferrilösung in der Hitze tropfenweise Ammoniak hinzu, so ändert sich mit der langsamen Zufuhr allmählich die Farbe der Lösung bis sie dunkelrotbraun wird. Diese letztere stellt einen Solzustand dar, wir vermögen keine Ungleichmäßigkeit in der Verteilung dieser dunkelrotbraun gefärbten, scheinbaren Lösung nachzuweisen, sie erscheint uns bei der Betrachtung als völlig gleichmäßig oder homogen, aber schon ein geringes Mehr von Ammoniak, als zur Herstellung dieses Solzustandes notwendig war, zu ihr hinzugefügt, läßt plötzlich das Eisen ausfällen, und zeigt damit die im Solzustand bestehende Inhomogenität der „Lösung“ augenfällig an.

So wenig wir eine scharfe Grenze zwischen Suspension — grobdisperser Verteilung — und kolloider Lösung ziehen können, so wenig vermögen wir dieses auch zwischen den Kolloiden und den echten Lösungen zu tun. Wir erkennen somit, daß von den Suspensionen, den verschiedensten kolloiden Verteilungen bis ins Gebiet der äußersten, d. h. der molekularen Verteilung, wie sie in den echten, homogenen Lösungen gegeben ist, nur ein Weg führt, nämlich der von einer stufenweise erfolgenden feinen Verteilung der Materie. Daher müssen wir es denn auch als durchaus zweckmäßig ansehen, wenn Wo. Ostwald in Bezug auf die echten homogenen Lösungen den Ausdruck „molekulardisperse Systeme" geprägt hat, denn in dieser Bezeichnungsweise tritt uns die auch hier noch in gewisser Beziehung vorhandene Inhomo- oder Heterogenität der Teilchen am deutlichsten entgegen.

Wir haben auf obige Weise den Kolloidzustand gewissermaßen als ein optisches Phänomen betrachtet, jedoch müssen wir bekennen, daß eine solche Betrachtungsweise keineswegs die ursprüngliche ist, ebenso wenig wie anfänglich die Grenzen zwischen den kolloiden und sonstigen Systemen so kontinuierlich ineinander übergehend hingestellt worden sind, wie wir dieses entsprechend unseren heutigen Ansichten als völlig sichergestellt getan haben. Thomas Graham (1861), der Entdecker des Kolloidzustandes und Begründer der Kolloidchemie stellte nämlich den Begriff zweier verschiedener Welten der Materie als in der Natur vorhanden auf, die fundamental entgegengesetzte Beschaffenheit und Eigenschaften erkennen lassen sollten. Er nannte sie die Welt der Kristalloide und die Welt der Kolloide. Als wesentlichstes Kennzeichen galt ihm das unbeschränkte Vermögen der in Lösung befindlichen Materie erster Art durch Membranen hindurchzuwandern und sich aus der Lösung kristallinisch abzuscheiden. Als Merkmal der zweiten Körperklasse erkannte er ihre äußerlich „leimartige" Beschaffenheit, woraus sich ja auch die von ihm gewählte Bezeichnung „Kolloid" erklärt. Dieser Beschaffenheit schrieb er ihr Unvermögen kristallisieren zu können zu und glaubte sich berechtigt, annehmen zu dürfen, daß gewisse Stoffe nur als Kolloide, andere nur als Kristalloide auftreten. Einen derartig scharfen Unterschied vermögen wir heute als vorhanden nicht mehr anzuerkennen, denn wenn auch im osmotischen Vermögen ein unterscheidendes Merkmal vorliegt, so kann man den Kolloiden aber doch nicht jede Diffusionsfähigkeit schlechthin absprechen, auch hier gibt es Abstufungen, ebenso wie in Bezug auf die Kristallisationsverhältnisse. Wir dürfen vielmehr sagen, heute geht die Auffassung sogar dahin, daß jeder Stoff je nach den Umständen und Bedingungen sowohl als Kristalloid, wie auch als Kolloid in Erscheinung treten kann, wie dies die Lehre P. P. v. Weimarns über den Zustand der Materie u. a. deutlich zum Ausdruck gebracht hat.

Jedoch auch Grahams Auffassung steht mit den obigen Darlegungen im Zusammenhang, denn bei einem gewissen Grad der Zerteilung der Materie in einem Dispersionsmittel wird die disperse Phase in ihrem osmotischen Vermögen den Suspensionen ähneln und wird eine solche mittelbare Aufteilung auch keine besondere Neigung zur Kristallisation zeigen. Hieran anschließend wollen wir die wichtigsten Eigenschaften der Kolloidlösungen kurz betrachten, da wir unmöglich auf alle einschlägigen Verhältnisse Rücksicht nehmen können.

Vor allen Dingen ist erstens das sogen. Tyndalphänomen zu nennen. Es wurde schon erwähnt, daß die Dispersität der kolloiden Lösungen nur noch mit besonderen Hilfsmitteln darzutun sei, denn die Sichtbarkeitsgrenze des Mikroskopes liegt bei etwa 0,1 μ, d. s. 0,0001 mm, und der kolloide Zustand bewegt sich zwischen 100 und 1 $\mu\mu$ Teilchengröße. Läßt man aber ein System von Lichtstrahlen durch eine Aufschwemmung feiner Teilchen, und zwar schon Suspensionen erlauben es, hindurchgehen, so tritt ein Opaleszieren ein, wobei das ausgestrahlte Seitenlicht teilweise polarisiert wird. Diese deutlich wahrnehmbare und kennzeichnende Erscheinung wird als Tyndalphänomen bezeichnet. Die meisten kolloiden Lösungen lassen es erkennen und geben damit deutlich zum Ausdruck, daß sie disperse Systeme und demnach vergleichbar mit Suspensionen sind.

Nicht nur durch das Tyndalphänomen ist es uns möglich, die kolloide Lösung nachzuweisen, es gibt auch noch ein weiteres optisches Hilfsmittel, das die Dispersität zu erkennen gestattet. Es ist dies das von Siedentopf und Zsigmondy eingeführte Ultramikroskop. Auch hier wird ein Lichtbündel seitlich durch die zu untersuchende Lösung gesandt. Von einem jeden einzelnen „Ultrateilchen" der Kolloidlösung wird ein Lichtkegel abgebeugt und mit dem Mikroskop betrachtet. Die Kolloidteilchen erscheinen auf diese Weise als sehr helle Pünktchen oder Scheibchen auf dunklem Grunde. Mit Hilfe des Ultramikroskopes gelangt man noch zur Feststellung von Teilchengrößen von etwa 4 $\mu\mu$ und ist damit ziemlich nahe den molekularen Dimensionen gerückt. Während man die unter dem gewöhnlichen Mikroskop sichtbaren kleinsten Teilchen wohl Mikronen nennt, heißen diese kleinen und kleinsten Teilchen des Ultramikroskops Submikronen. Alle Submikronen befinden sich in einer völlig ungeordneten, wimmelnden, dauernden Bewegung, wir nennen diese ihnen eigentümliche Erscheinung die Brownsche Molekularbewegung. Auch deren Gegenwart und Zustandekommen ist ein weiterer Beweis für den hohen Aufteilungsgrad, der dem molekularen nahe kommt. Wir erkennen also immer wieder, worauf ja schon mehrmals mit Betonung hingewiesen worden ist, daß wir es in den kolloiden Lösungen mit dem Grade nach verschiedenen Zerteilungen zu tun haben.

Ferner haben wir, soweit dieses nicht schon geschehen ist, auf die Unfähigkeit der Kolloide, durch Membranen hindurchzugehen bezw., wie man sagt, diffundieren zu können, hinzuweisen. Die Diffusion von gelösten Stoffen aus ihrem in das reine Lösungsmittel hat ihre Ursache im osmotischen Druck und dieser hängt von der Molekularkonzentration des gelösten Stoffs ab. Da aber die die Diffusion in den kolloiden Lösungen bewirkende Kraft, infolge der recht weitgehenden Zerteilung der Stoffe, nur gering ist, so kann die Diffusion hier nur wenig zur Geltung kommen.

Wohl aber liegt, wenn man so sagen darf, das landläufigste Kennzeichen einer echten Lösung im Ausfall ihrer Gefrierpunktsbestimmung, was gleichfalls mit der Molekularkonzentration des gelösten Stoffs im Zusammenhang steht. Ein in molekularer Lösung befindliches Salz erniedrigt den Gefrierpunkt, und wenn man in den kolloiden Lösungen auch wohl gegenüber dem reinen Lösungsmittel eine Erniedrigung beobachten kann, so sind die dafür gefundenen Werte doch außerordentlich klein und nicht der Konzentration entsprechend. Sie rühren vermutlich nur von Verunreinigungen her, denn ganz reine Kolloidkörper zeigen die Erniedrigung nicht. Es weist somit die kryoskopische Methode auf ein äußerst hohes Molekül der Kolloide hin und liefert damit ein weiteres charakteristisches Merkmal für ihre besondere Beschaffenheit.

Die Bestimmung des osmotischen Druckes gibt aber wohl in besagter Hinsicht den besten Aufschluß. Bekanntlich erweisen sich tierische Membranen, ferner solche aus Kollodium, Gelatine, Pergament und dergleichen Substanzen einerseits undurchlässig für Kolloidkörper, aber andererseits durchlässig für Salze, die in „echter Lösung“ vorhanden sind. Infolge dieses Verhaltens ist es leicht, zwecks Messung des von den Kolloiden ausgeübten osmotischen Druckes, geeignete Membranen herzustellen und durch sie zugleich eine Scheidung der Kolloide von den echtgelösten Stoffen herbeizuführen. Besonders wichtig, aber auch verwickelt, gestalten sich die Verhältnisse dann, wenn das Kolloid elektrische Ladung besitzt. Diesen Dingen können wir jedoch hier nicht folgen. Wir wollen nur noch als weitere, besondere Eigentümlichkeit der Kolloidlösungen ihr Nichtfiltrationsvermögen als Folge ihres Dispersitätsgrades hervorhebeu. Diese Eigenschaft hat zur Anfertigung von sogen. Ultrafiltern geführt. Diese bestehen aus Filtierpapier, das mit Essigkollodium oder Gelatine durchtränkt und dann durch Wasser- und Formalinbehandlung gehärtet worden ist. Je nach der Konzentration der benutzten Kollodium- oder Gelatine-Lösung, die ja gleichfalls kolloider Natur ist, ist die Porenweite des Ultrafilters eine verschiedene und damit die Möglichkeit, eine Trennung der verschiedenen Kolloide voneinander herbeizuführen, gegeben.

Obige Hinweise mögen für unsere Zwecke genügen, um eine Vorstellung von der Natur kolloider Lösungen zu erwecken. Für die Charakteristik der Arteigentümlichkeit der Kolloide kommen jedoch noch eine Menge anderer Eigenschaften in Frage, die zwar nicht minder wichtig sind, aber doch nicht alle Behandlung finden können. Es galt ja auch nur, den Kolloidzustand als Ausdruck einer Zerteilung des Stoffs darzulegen. Aber einen Augenblick müssen wir dennoch bei dieser Körperwelt, oder besser gesagt, bei dieser Zustandsart der Materie verweilen.

Wir haben schon vernommen, daß wir den scheinbar gelösten Zustand der Kolloide als Solzustand (von solutio Lösung) bezeichnen, doch dies ist nicht die einzige Möglichkeit ihres Auftretens, auch im festen Zustand kommen die Kolloide vor, und wir nennen diesen wegen seiner Beschaffenheit, abgeleitet von Gelatine, Gelzustand. Der erstere kann in den letzteren durch alle möglichen Zwischenstufen übergehen, aber auch das Umgekehrte vermag einzutreten. So werden die im Solzustand vorhandenen Kolloide durch Salze ausgeflockt oder ausgesalzen, d. h. gewissermaßen zu Gelen verdichtet. Das Umgekehrte kann erfolgen, wenn man den ausflockenden Elektrolyten entfernt. Wir sprechen in diesem Fall von reversiblen Zustandsänderungen im Gegensatz zum irreversiblen Zustand, bei welch letzterem eine Umwandlung nicht mehr eintritt, d. h. also der einmal erreichte Gelzustand bestehen bleibt. Für alle diese Erscheinungen spielen die verschiedenartigsten physikalisch-chemischen Verhältnisse und Bedingungen eine große Rolle. Es mag nur noch erwähnt sein, daß die Kolloide auch mit elektrischen Eigenschaften begabt sind, was für die Ausfällung und für die Adsorption wieder von besonderer Bedeutung ist. Ferner sei ihr Quellungsvermögen, ihre besondere Struktur, ihr Schutzwirkungsvermögen, ihre Neigung zu späterer Verfestigung (Hysteresis) noch erwähnt, da wir unmöglich auf alle diese Dinge näher eingehen können. Nur der Einteilung der Kolloide haben wir noch ein paar Worte zu widmen. Sie kann aus mancherlei Gründen vorgenommen werden in

1. Suspensionskolloide oder Suspensoide.
2. Hydrophile Kolloide oder Emulsionskolloide oder Emulsoide.

Die Suspensionskolloide gehören den typischen Suspensionen an. Als Beispiel einer Suspension mag eine Tonaufschwemmung in Wasser gelten. Hier ist die disperse Phase, der Ton, fest, das Dispersionsmittel, Wasser, flüssig. Der groben Zerteilung Suspension entspricht die kolloide Zerteilung Suspensoid. Es sind auch beim Suspensoid ganz scharfe Grenzen, durch welche Dispersionsmittel und disperse Phase voneinander geschieden sind, bemerkbar.

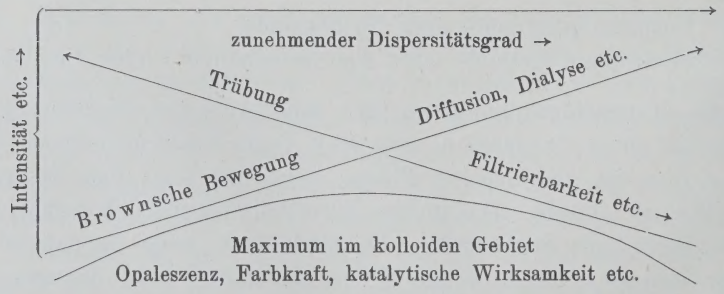
Im Gegensatz hierzu zeigen sich die hydrophilen oder Emulsionskolloide als, man möchte sagen, von einheitlicherer Beschaffenheit, insofern sie weniger heterogen erscheinen. Die disperse Phase enthält selbst auch das Dispersionsmittel und ist demnach für das Dispersionsmittel Wasser „hydrophil", sie gleicht einer Flüssigkeit, so daß diese kolloiden Lösungen in dieser Beziehung den Charakter von Suspensionen von Flüssigkeiten in Flüssigkeiten tragen, also an Emulsionen erinnern. Als Emulsion erweist sich die Milch, hier ist die disperse Phase und das Dispersionsmittel flüssig. Den Emulsionen entspricht die kolloide Zerteilung Emulsoid. Der Unterschied zwischen den beiden Phasen verschmilzt hier mehr und mehr, die Grenzen, die noch bei den Suspensionen und Suspensoiden scharf waren, beginnen sich zu verwischen. Die Lösungen der Suspensionskolloide besitzen etwa eine Oberflächenspannung wie die des Wassers und geringe innere Reibung, und schon kleine Elektrolytmengen schlagen aus ihnen die disperse Phase nieder, und zwar irreversibel. Ganz anders verhalten sich demgegenüber die hydrophilen Kolloide, denn ihre Lösungen zeigen verminderte Grenzflächenspannungen, sind „viskos" und wenig elektrolytempfindlich, und die durch Elektrolyte bewirkte Fällung ist eine reversible. Man spricht daher von ersteren wohl als von irreversiblen, von letzteren als von reversiblen Kolloiden, wie wir dieses schon erwähnt haben.

Zusammenfassend sei also nochmals betont, daß wir den Kolloidzustand der Materie als eine besondere Art der Zerteilung aufzufassen haben. Demzufolge sei am Schluß unserer Ausführungen über die Kolloide durch beifolgendes Schema von Wo. Ostwald der Übergang der dispersen Systeme ineinander und die damit verbundene Änderung ihrer Eigenschaften nochmals, wenn auch etwas anders, in übersichtlicher Weise zur Wiedergabe gebracht:

Disperse Systeme

Grobe Dispersionen — Kolloide — Molekulardispersoide

(100 — 1 $\mu\mu$)



Eine weitere charakteristische Eigenschaft der Eiweißstoffe ist ihre amphotere Beschaffenheit, die als Folge ihres chemischen Aufbaus zu

erblicken ist. Die Proteïne sowie die sonstigen eiweißartigen Körper sind, wie wir wissen, aus Aminosäuren zusammengesetzt, in denen sind Aminogruppen und Säuregruppen (Karboxyle) enthalten. Infolgedessen vermögen sie mit Säuren und mit Basen unter Salzbildung zusammenzutreten, und zwar kann dies in der Weise geschehen, daß bei der Reaktion des Eiweißkörpers mit einer Base der Karboxylwasserstoff gegen den positiven Basenbestandteil ausgetauscht wird,

$$R \cdot COOH + M(OH) = R \cdot COOM + H_2O$$

bezw. bei der Einwirkung auf Säuren eine Addition der letzteren stattfindet:

$$S \cdot NH_2 + HCl = S \cdot NH_3Cl.$$

Mithin sind die Eiweißkörper gleichzeitig als Säuren und Basen aufzufassen und erweisen sich als solche, indem sie als Folge dieser Beschaffenheit mit Basen und Säuren reagieren können, als amphoter. In wässeriger Lösung geben amphotere Verbindungen sowohl H^+ wie OH^- Ionen ab, und es beruht auf Bildung dieser Ionen gerade die Möglichkeit einer beiderseitigen Reaktion der Eiweißsubstanzen.

Andererseits kommt den Eiweißstoffen das Vermögen zu, eine große Zahl von Farbstoffreaktionen einzugehen, und wird dasselbe bekanntlich vielfach zu ihrer Erkennung benutzt, jedoch wir müssen darauf aufmerksam machen, daß diese Reaktionen nur für bestimmte Anteile oder die Verbindungsart der Aminosäuren im Eiweißmolekül bezeichnend sind, nicht aber etwa für die Eiweißsubstanz an sich. Die Eiweißnatur eines Körpers, der derartige Farbstoffreaktionen gibt, ist damit also keineswegs erbracht, denn es zeigen selbstverständlicherweise auch die Peptone infolge ihres Aufbaus aus Aminosäuren diese Reaktionen.

Wollen wir daher die Eiweißkörper aus ihren scheinbaren Lösungen, denn so müssen wir nach den gepflogenen Erörterungen sagen, abscheiden, so müssen wir andere Hilfsmittel in Anwendung bringen. Infolge des kolloiden Zustandes, in dem sich die Proteine befinden, kann ihre Abscheidung in der Form von Koagulationen durch Erhitzung ihrer „Lösung“ geschehen, auch fallen sie auf Zusatz von Salzen, besonders solchen der Schwermetalle aus, was wiederum eine Folge ihres kolloiden Charakters ist. Auch Alkohol, Alkaloide, oder Wolfram-, Phosphormolybdänsäure, Gerbsäure, Pikrinsäure, Ferrocyanwasserstoffsäure usw. rufen Fällungen hervor. Jedoch wird durch all diese Reagentien das Eiweiß nur als solches gefällt, eine Trennung von Eiweißgemischen vermögen wir in dieser Art nicht herbeizuführen. Die einzige Methode, die bei der Gewinnung bezw. Darstellung der Eiweißstoffe von Erfolg begleitet gewesen ist, besteht in dem Aussalzen der Proteine vermittels Ammon- und Zinksulfat. Aber auch im festen Zustande

kommen Eiweißverbindungen in der Natur vor, aus diesen sind auf hydrolytischem Wege Abbauprodukte zu gewinnen, wie wir dieses ja schon mehrfach betont haben.

Da aber die Eiweißstoffe im allgemeinen amorph bezw. kolloidal sind und daher mit geringer Ausnahme nicht kristallisieren, so ist die Reindarstellung mit fast unüberwindlichen Schwierigkeiten verbunden, und es ist die Frage nach der Natur der Eiweißkörper als chemisch einheitlicher Verbindungen nach dem Stande unseres derzeitigen Wissens kaum zu beantworten. Es entspricht daher mehr den Tatsachen, wenn wir uns mit E. Abderhalden auf den Standpunkt stellen, daß wir in der Bezeichnung Protein oder Eiweiß einen biologischen Sammelbegriff ähnlich dem der Stärke zu erblicken haben, und zwar, wie wir dieses auch bisher immer betont haben, für hochmolekulare, kolloide, aus Aminosäuren zusammengesetzte Verbindungen.

Wir haben den kolloiden Zustand der Proteine als besonders eigentümlich für sie in den Vordergrund gerückt, dürfen aber andererseits nicht verschweigen, daß auch, wie schon angedeutet, Ausnahmen in dieser Beziehung vorkommen. Schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts kennt man die im Klebermehl als Aleuron bezeichneten Pflanzenkristalle, deren Eiweißnatur alsbald festgestellt wurde, und deren Verbreitung nicht auf Klebermehl beschränkt blieb. Aus diesem Vorkommen dürfen wir nun aber keinesfalls den Schluß ziehen, daß die Kolloidbeschaffenheit der Eiweißstoffe auf schwachen Füßen steht. Diese wenigen Ausnahmevorkommnisse können diesen Tatbestand nicht erschüttern. Es zeigt uns diese Erscheinung vielmehr wieder recht deutlich, daß so schroffe Gegensätze, wie der Mensch sie aufstellt, um sich in der Fülle der Vorkommnisse zurechtzufinden, in der Natur nicht vorhanden sind. Die Natur kennt nur Übergänge, wie wir dieses bei der Betrachtung des kolloiden Zustandes als besonders zutreffend erkannt haben.

Was die Einteilung der Eiweißstoffe anbetrifft, so kann dieselbe sowohl nach chemischen wie auch z. T. nach physikalischen Gesichtspunkten und Eigenschaften dieser Körperwelt vorgenommen werden. Aminosäurenatur und Kolloidbeschaffenheit sind die Hauptmerkmale. Erstere Eigenschaft ist allen gemeinsam, die eigentlichen Eiweißstoffe teilen sie mit den Peptonen und Polypeptiden, letztere Eigenart kommt aber nur den Proteinen zu. Diese können nun weiter in zwei Gruppen zerlegt werden, nämlich in die nur aus Eiweißstoffen bestehenden Proteine und die aus Eiweiß und Nichteiweiß aufgebauten Proteide, so daß man auch wohl von einfachen und zusammengesetzten Eiweißstoffen spricht. Die einfachen Eiweißstoffe oder Proteine zerfallen ihrerseits wiederum in mehrere Untergruppen, und zwar, um nur einige hervorzuheben, in Albumine, Globuline, Gluteline, Prolamine usw.

Die sehr stark verbreiteten Albumine sind wasserlöslich und außerdem auch in verdünnten Salzlösungen, Säuren und Alkalien zu lösen und daher nicht durch diese fällbar. Eier-, Milch-, Serumalbumin, Plasmaalbumin, ferner das Leukosin der Getreidearten, das Legumelin gewisser Leguminosen wie noch viele andere gehören hierher. Chemisch sind sie dadurch gekennzeichnet, daß ihnen die Aminosäure Glykokoll fehlt. Einige von ihnen kommen auch in Kristallform vor, sie sind neutrale Eiweißkörper.

Die Globuline stehen, was ihr Vorkommen anbelangt, den Albuminen nicht nach und sind mit ersteren meist vergesellschaftet, unterscheiden sich aber von diesen durch ihre Unlöslichkeit in Wasser und Säuren. Im Gegensatz zu den Albuminen führen sie Aminoessigsäure und besitzen sauren Charakter, auch kristallisiert kommen einige vor. Man unterscheidet auch hier Eier-, Milch-, Serum- und Plasmaglobulin. Von pflanzlichen Globulinen sei das Edestin (im Hanf und Sonnenblume), Legumin (in der Erbse, Linse und Wicke), Phaseolin (in der Bohne), Konglutin (in der Lupine), Amandin (in der Mandel) aufgeführt. Myosin, Myogen, Fibrinogen sind dagegen bekannte tierische Globuline.

Die Gluteline sind bisher wenig bekannte, nur in der Pflanze vorkommende Eiweißkörper, so z. B. im Mais, Reis und Weizensamen. Auch die Prolamine gehören zumeist dem Pflanzenreich an. Das Gliadin des Weizens, das Hordein der Gerste und das Zein des Maises sind die bekanntesten und wichtigsten der hierher gehörigen Substanzen. Die noch vielleicht zu erwähnenden zähflüssigen Muzine, die diesen nahestehenden Mukoide wie auch die Albuminoide oder Gerüsteiweißsubstanzen sind Proteine des Tierkörpers und daher für uns von untergeordneter Bedeutung.

Die Proteide, die wir als mit anderen Stoffen von nichteiweißartiger Beschaffenheit gepaarte Eiweißsubstanzen erkannt haben, umfassen die Nukleoproteide, Farbstoffeiweiße und Glukoproteide, erstere führen außer Eiweiß Nukleinsäuren. Zu den Proteiden zweiter Art gehört der bekannte Blutfarbstoff Hämoglobin. In diesen findet sich eine eisenhaltige Verbindung, das Hämatin verbunden mit einer Eiweißsubstanz besonderer Art, dem Globin. Aber auch dem Pflanzenreich zugehörige Verbindungen wie z. B. das Phycoerythrin und Phycocyan sind hier zu nennen. Auch die Phosphorsäure enthaltenden Eiweißstoffe rechnet man zum Teil zu ihnen. Die Glukoproteide mit Kohlehydratkomponenten neben Eiweiß sind dagegen wenig erforschte Substanzen.

Wenn wir im obigen eine Einteilung der großen Zahl der Eiweißverbindungen angestrebt haben, so dürfen wir keineswegs verkennen, daß die heute zur Verfügung stehenden Methoden eine solche nur in

großen Zügen erlauben. Im allgemeinen haben wir es in jeder Gruppe mehr oder weniger mit inhomogenen Produkten zu tun und wir haben daher von diesem Gesichtspunkt aus die vorliegende Einteilung zu beurteilen.

Um uns gewissermaßen noch eine Vorstellung über die Zusammensetzung wichtiger Eiweißstoffe des Pflanzenreichs zu erwerben, möge hier eine solche Angabe nach Emil Abderhalden folgen. Die Kompliziertheit des Aufbaus dieser Stoffe in Bezug auf die Anteilnahme der Aminosäuren tritt uns damit unmittelbar vor Augen.

	Legumin aus der Erbse	Leukosin aus dem Weizensamen	Gliadin aus dem Weizenmehl
Glykokoll . .	0,4	0,9	0,0
Alanin . . .	2,0	4,5	2,5
Serin	0,5	—	0,1
Cystin . . .	—	—	0,45
Valin . . .	—	0,2	0,3
Leuzinfraktion .	8,0	11,5	6,0
Phenylalanin .	3,75	3,8	2,6
Tyrosin . . .	1,5	3,3	2,4
Histidin . . .	1,7	2,8	1,7
Lysin . . .	5,0	2,75	0,0
Arginin . . .	11,7	6,0	3,4
Asparaginsäure	5,3	3,4	1,2
Glutaminsäure .	17,0	6,7	37,0
Prolin . . .	3,2	3,2	2,4
Tryptophan	vorhanden	vorhanden	ca. 1,0
Ammoniak . .	2,0	1,4	5,1

So interessant und wichtig ein solcher Einblick in die chemische Natur der Proteine nun auch ist, so dürfte uns für landwirtschaftlich praktische Zwecke doch ungleich wichtiger die Kenntnis des Gesamteiweißgehaltes unserer gewöhnlichen Kulturpflanzen erscheinen. Wir bezeichnen ihn nach den früher gepflogenen Darlegungen über die Futtermittelanalyse als Rohproteingehalt, müssen aber darauf hinweisen, daß auch die etwa vorhandenen Proteidmengen in ihm mit enthalten sind. Denn wie wir ja auch schon wissen, gelangen wir zur Menge des Rohproteins oder Roheiweißes durch Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes eines Futtermittels, indem wir die gefundene Stickstoffmenge mit 6,25 multiplizieren. Dies ist aber aus dem Grunde möglich und auch bis zu einem gewissen Grade zulässig, weil der Gehalt der Eiweißsubstanzen an Stickstoff nur wenig schwankt, nämlich zwischen 14,7 und 18,4 % liegt und für den gedachten Zweck zu rund 16 % angesetzt wird. Das auf diese Weise für unsere Kulturpflanzen ermittelte Rohprotein stellt sich z. B.

beim Getreidestroh auf	3,5 %
bei Getreidekörnern auf	10—13 „
beim Wiesengras auf	3,1 „
bei grünen Zuckerrübenblättern auf .	2,6 „
bei Runkelzuckerrüben auf	1,0 „
bei frischen Kartoffeln auf	2,0 „
beim Rotklee auf	3,3 „
beim Erbsenstroh auf	7,1 „
bei Erbsen auf	22,6 „
bei Bohnen auf	25,0 „
bei Lupinen auf	29—36 „

In den Samen ist weitaus die größte Menge von Reineiweiß zugegen, in den vegetierenden Teilen dagegen nur Bruchteile davon.

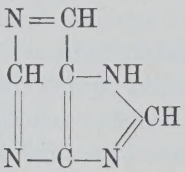
Bevor wir nun noch auf die Nukleoproteide eingehen, sei kurz darauf hingewiesen, daß Stickstoffverbindungen von nennenswerter Menge außer den uns schon bekannten Vorkommnissen in Gestalt von Eiweiß, freien Aminosäuren, Alkaloiden und dem untergeordneten Auftreten von freiem Ammoniak kaum in der Pflanze zum Nachweis gelangen. Ausnahmsweise beobachtet man wohl in den Blättern gut gedüngter Rüben und Kartoffeln Salpetersäure, wie überhaupt infolge des Gehaltes aller vegetierenden Organe an Aminostoffen eine gewisse Menge davon zur Entstehung gelangen kann. Jedoch wesentliche Bedeutung in Bezug auf die zur Entwicklung kommenden Mengen kann diesen letzteren Vorkommnissen nicht beigemessen werden. Daß allerdings die Enzyme und Fermente auch zu den stickstoffhaltigen organischen Stoffen, die sich in gewissen Vegetationsstadien aus dem Protoplasma entwickeln, gehören, sei gleichfalls an dieser Stelle erwähnt.

Wohl in fast allen pflanzlichen und tierischen Zellen sind nun aber noch andere wesentlich am Aufbau des Zellkerns beteiligte stickstoffhaltige Verbindungen enthalten. Sie sind ihrer chemischen Zusammensetzung nach als gemischte Substanzen aufzufassen, nämlich einerseits als Eiweißstoffe, andererseits als solche von nicht eiweißartiger Natur. Sie werden Nukleoproteide genannt. Jedoch kann man sie wohl kaum als besondere Verbindungen der Eiweißkörper mit Nukleinsäure ansehen, denn die letzteren bilden sowohl mit basischen Eiweißkörpern als auch mit anorganischen Basen Salze, die in dieser Form den Zellkern aufbauen. Die Histone und Protamine sind derartige basische Eiweißkörper. Rein dargestellt erweisen sich die Nukleoproteide als weiße pulverartige, in Alkalien lösliche, in Wasser und Salzlösungen nur wenig lösliche Substanzen, die in ihren Eigenschaften manchen Eiweißstoffen ähneln. Mit ihnen teilen sie die hochmolekulare Natur, sind aber noch weniger als diese untersucht. Man weiß nur mit Sicherheit, daß sie

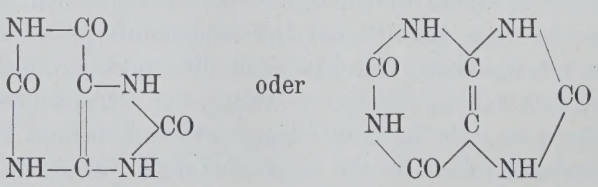
durch einen Gehalt an Nukleinsäure ausgezeichnet sind. Man hat die Nukleoproteide durch Hydrolyse zu Eiweiß und Nuklein abgebaut, und letzteres wiederum zu Eiweiß und Nukleinsäuren. Aber in Wirklichkeit dürften die Verhältnisse der Zusammensetzung und damit des Abbaus viel verwickelterer Art sein, denn nicht nur Eiweißkomponenten, sondern auch vielfach Phosphorsäure gelangen bei letzterem in Freiheit. Neben der Phosphorsäure sind auch reichliche Mengen von anderen Mineralbestandteilen, so u. a. besonders Eisen, vorhanden. Wir dürfen somit wohl sagen, daß es sich in den Nukleoproteiden um recht verwickelt zusammengesetzte Stoffe handelt, deren Natur noch nicht völlig geklärt ist. Die Beschaffenheit des Eiweißanteils ist die nämliche, wie sie uns von den betrachteten Eiweißkörpern her bekannt ist, jedoch der Nukleinanteil erfordert noch eine kurze Besprechung.

Die Nukleinsäuren führen Purin- und Pyrimidinbasen, Phosphorsäure und Kohlehydrate als Komponenten, denn durch Hydrolyse sind vorgenannte Stoffgruppen aus den Nukleinsäuren erhalten worden. Von den niemals fehlenden Purinbasen sind das Adenin, Guanin, Xanthin und Hypoxanthin, von den Pyrimidinbasen, Thymin, Cytosin und Urazil zu nennen. Die Kohlehydratgruppe wird gewöhnlich durch eine Hexose oder Pentose gestellt. Kristallisierte Nukleinsäuren kennt man bisher nicht, sie sind in Wasser und Alkalien lösliche Substanzen, die durch Zusatz von Mineralsäuren aus ihrer Lösung fällbar sind.

Ohne hier näher auf die chemische Zusammensetzung der Purinbasen einzugehen, sei doch wenigstens auf das Purin selbst hingewiesen, von dessen Kern sich dieselben ableiten.

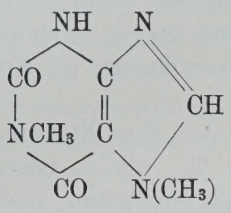


Vielleicht darf auch noch daran erinnert werden, daß die Harnsäure als Trioxypurin aufzufassen ist und das Guanin als Aminooxypurin und die Xanthine gleichfalls als Oxypurine zu gelten haben.

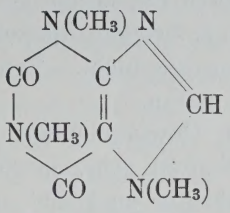


Harnsäure

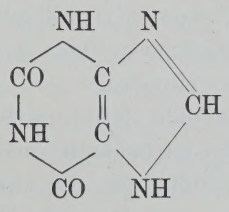
Auch sei noch schließlich angedeutet, daß im Purinkern der Pyrimidin- und Imidazolkern mitenthalten sind, um in Hinsicht auf die verwandtschaftlichen Beziehungen dieser Körper wenigstens eine Vorstellung zu erwecken. Daß dann die im Kakao, Tee und Kaffee enthaltenen Stoffe Theobromin, Kaffein oder Thein methylierte Xanthine sind, möge als weitere Illustration inniger chemischer Beziehungen der dem Laien so wesentlich verschieden erscheinenden Körper noch angeführt sein.



Theobromin
= Dimethylxanthin



Kaffein oder Thein
= Trimethylxanthin



Xanthin

Die Nukleinsäuren zeigen ihrer ganzen Konstitution nach Anklänge an die uns schon bekannten Phosphatide. Bei diesen war in den meisten Fällen Glyzerin mit Phosphorsäure verknüpft. Hier finden wir an Stelle des dreiwertigen Alkohols einen Abkömmling eines fünf- oder sechswertigen Alkohols, d. h. eine Pentose oder Hexose. Von den in der Pflanze vorkommenden Nukleinsäuren ist bisher nur die Tritikonukleinsäure aus den Keimlingen des Weizens gewonnen und näher bekannt geworden. Sie enthält außer Phosphorsäure von Purinbasen das Guanin und Adenin, von Pyrimidinbasen das Cytosin und Thymin und als Kohlehydrat d-Ribose, vielleicht ist auch noch Urazil als ein weiterer Basenanteil vorhanden.

Auch in Bezug auf die noch zu erörternde Gruppe der stickstoffhaltigen Alkaloidsubstanzen können wir uns verhältnismäßig kurz fassen, denn sie sind einmal in physiologischer Hinsicht als Endprodukte des Stoffwechsels aufzufassen, also Stoffbildungen, die aus dem Stoffwechselgetriebe ausgeschieden oder besser ausgeschaltet sind, ein andermal handelt es sich in ihnen um sehr kompliziert aufgebaute Substanzen, so daß wir ihrer chemischen Natur nur ganz oberfläch-

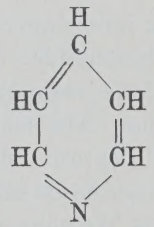
lich nahe treten können. Zudem tritt noch hinzu, daß sie in ihrer chemischen Zusammensetzung durchaus noch nicht alle als aufgeklärt gelten können.

Im allgemeinen können wir von ihnen aussagen, daß es stickstoffhaltige organische Stoffe mit geringer oder keiner Sauerstoffbeteiligung sind, sehr verschiedene Zusammensetzung aufweisen und sich durch stark basische Eigenschaften auszeichnen. Zu ihnen gehören die am stärksten wirkenden organischen Gifte.

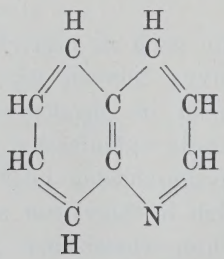
Namentlich Euphorbiaceen, Ranunculaceen, Solaneen, Papaveraceen, Colchiceen u. a. bringen Alkaloidsubstanzen hervor. Labiaten und Compositen führen sie nicht. Von den Kulturpflanzen ist der Samen der Lupine reich daran.

Für die Gewinnung der Alkaloide aus den Pflanzen eignen sich ihre Eigenschaften sehr, insofern sie z. T., wie z. B. das Nikotin, unzersetzt flüchtig sind und somit durch Destillation nach Extraktion mit Kali aus der Pflanzenmasse erhalten werden können. Andererseits sind sie aber nicht destillierbar, wie z. B. das Chinin, doch sie besitzen dafür die Eigenschaft eines guten Kristallisationsvermögens, was gleichfalls für Gewinnung und Reindarstellung besonders wertvoll ist. Auch ist ihre Synthese teilweise gelungen.

Die wichtigsten Alkaloide leiten sich vom Pyridin und vom Chinolin ab. Das Pyridin ist bekanntermaßen jene interessante ringförmige Kohlenwasserstoffverbindung, die anstatt der einen CH-Gruppe des Benzols Stickstoff führt, also folgende Formel besitzt:



Das Chinolin stellt demgegenüber eine doppelte Ringbildung dar, indem ein Benzolring mit einem Pyridinring verkuppelt erscheint:



Das am längsten bekannte Alkaloid dürfte wohl das Morphin des Opiums sein. Es setzt sich aus fünf derartigen Ringgebilden zusammen. Das Morphin ist das Hauptalkaloid des weißen Mohns. Ferner sind hier das bekannte Fiebermittel Chinin und das Gift Strychnin zu nennen, ersteres aus der Chinarinde, letzteres aus den Früchten der *Strychnos nux vomica*, den sog. Krähenaugen, stammend. Das Atropin aus der Wurzel der *Atropa Belladonna*, das Brucin aus der Brechnuß und vor allen Dingen Cocain, Koffein und Nikotin sind hier zu nennen. Letzteres ist z. B. ein Pyridil-Methylpyrrolidin und kommt neben anderen Alkaloidsubstanzen in der Tabakpflanze vor. Auch mag noch erwähnt sein, daß man imstande ist, den Nikotingehalt des Tabaks durch kräftige Ammoniakdüngung zu erhöhen, und daß je mehr Nikotin in der grünen Tabakpflanze enthalten ist, um so weniger eine Beschädigung seitens Schnecken oder Insekten zu befürchten ist. Hier wirkt also der Alkaloidgehalt förderlich für das Gedeihen der Pflanze. Der Morphingehalt des Mohns kann in gleicher Weise eine Vermehrung durch eine Düngung mit Ammoniak erfahren.

Mit den Alkaloiden wollen wir unsere Erörterungen über die „organischen Bestandteile" der Pflanze schließen, jedoch nicht ohne den besonderen Hinweis, daß wir in der Aufzählung und Besprechung der Pflanzenbestandteile dieser Art durchaus nicht erschöpfend gewesen sind. Nur die hauptsächlichsten Vertreter der wesentlichsten Stoffgruppen vermochten wir heranzuziehen, während alle Vorkommnisse von weniger Bedeutung Vernachlässigung finden mußten, da es für unsere Zwecke das Wesentlichste in den Vordergrund zu stellen galt. Unter diesen Verhältnissen hat manche Gruppe von nicht zu unterschätzendem Wert zurücktreten müssen, wie z. B. die Gruppe der organischen Säuren und andere mehr, und wir werden daher noch bei anderer Gelegenheit auf sie zurückzukommen haben.

Auf Grund unserer bisherigen Erörterungen über die stoffliche Natur der sogen. organischen Pflanzenmasse wird es uns nun aber möglich sein, die in den späteren Kapiteln zu behandelnde Entstehung und Umbildung dieser Stoffe in der Pflanze verstehen zu können. Es kann nämlich nicht genügend darauf hingewiesen werden, daß ein solches Verständnis nur auf dem Boden der Erkenntnis von der chemischen Zusammensetzung erwachsen kann, und solche somit eine unbedingt zu erfüllende Vorbedingung darstellt. Was aber in dieser Beziehung für den organischen Teil der Pflanzensubstanz durchgeführt werden mußte, das hat in gleichem Maße auch für den mineralischen Anteil zu geschehen, und so schließt sich die chemische Besprechung der Aschenbestandteile ungezwungen an die vorstehenden Ausführungen an.

B. Die Aschenbestandteile im allgemeinen

Es bedarf nun wohl kaum des Hinweises, daß wir die bisher betrachteten Bestandteile des Pflanzenkörpers als unumwunden notwendige Bestandesmassen der Pflanze ansehen müssen. Es spricht hierfür nicht nur allein, daß wir uns eine Pflanze ohne sie überhaupt nicht vorstellen können, sondern auch, daß alle jene Stoffe, allein vielleicht mit Ausnahme der zuletzt angeführten Alkaloide, stets und ständig in allen Pflanzen angetroffen werden. Kohlehydrate, Fette, Proteine mit ihren Bausteinen sowie das Wasser sind ohne weiteres, man möchte sagen „an sich", Pflanzenbestandteile, deren Fehlen, und wenn es sich auch nur um einen einzelnen von ihnen handelt, das Bestehen der Pflanze zur Unmöglichkeit macht. Wir brauchen ihre Unentbehrlichkeit daher nicht erst nachzuweisen, ihre Allgegenwart in der Pflanze gibt unmittelbar zu erkennen, daß sie notwendigerweise vorhanden sein müssen, um eine Pflanze als solche zu kennzeichnen. Alle jene Substanzen sind somit wesentliche Attribute der organischen Substanz und damit eng verwachsen mit dem Begriff der organisierten, organischen Materie schlechthin.

So einfach verhält es sich nun aber mit den Aschebestandteilen, den anorganischen Konstituenten, des Pflanzenkörpers in dieser Beziehung nicht. Sie sind in ihrer Gesamtheit nicht stets und ständig in der Pflanze enthalten, und so gibt dieser Umstand schon allein Veranlassung zu besonderem Nachdenken über ihre Gegenwart. Wir sind gezwungen, für sie erst den Nachweis der wichtigen, d. h. unbedingten oder der unwichtigen bezw. entbehrlichen Anteilnahme an der Zusammensetzung der Pflanzensubstanz zu erbringen.

Um diesen Fundamentalunterschied in der Anteilnahme organischer und anorganischer Materie am Aufbau des Pflanzenkörpers seinem Wesen nach richtig einzuschätzen, bedarf es folgenden Hinweises. Ziehen wir eine Pflanze aus ihrem Samen in einem Nährmedium oder Standort, der an und für sich völlig steril ist, wie z. B. ein geglühter reiner Quarzsand und geben wir dieser Pflanze außer Wasser, das gleichfalls völlig rein — chemisch rein — ist, nur ein wenig Stickstoff in gebundener Form, sonst aber nichts, da ihr die Kohlensäure aus der Luft zum Aufbau der organischen Masse zur freien Verfügung steht, so werden wir alsbald beobachten, daß die Pflanze im Wachstum nachläßt, verkümmert und schließlich ganz eingeht. Ganz andersartig wird aber der Erfolg dieses Experimentes dann sein, wenn wir dem jungen Keimling außer jenen Substanzen (Wasser, Kohlensäure und gebundenem Stickstoff) auch noch gewisse Mineralsalze verabreichen. Denn nun wird die Pflanze zur vollen Entwicklung, Blüte und Reife gelangen. Wenn

wir hieraus nun auch wohl den Schluß ableiten können, daß mineralische Stoffe zum Leben und Gedeihen einer Pflanze erforderlich sind, so reicht die gewählte Methode dennoch nicht aus, um auch die Unentbehrlichkeit dieser Stoffe für die Pflanze zu erweisen, es sei denn, daß es dem Pflanzenorganismus unmöglich sei, entbehrliche oder zufällig im Wasser vorhandene Stoffe aufzunehmen und seiner Masse zuzuführen bezw. einzuverleiben. Ein solches Vermögen, nützliche von schädlichen oder unbrauchbaren Stoffen zu sondern, besitzt die Pflanze nun aber nicht, wenn schon die verschiedenen Pflanzen, wie wir später sehen werden, auch recht wechselnde Bedürfnisse in Bezug auf die Aufnahme nach Menge und Art der ihnen gebotenen Nahrung stellen. Das einfachste Mittel durch chemische Analyse der Pflanzenasche die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile zu erweisen, welches Vorgehen uns bei den organischen Substanzen der Pflanze so gute Dienste geleistet hat, verläßt uns hier also vollständig, und es mußte demzufolge erst die Unentbehrlichkeit gewisser Aschenbestandteile in anderer Weise zu erbringen gesucht werden.

Diese wichtige Tatsache erkennt man sofort, wenn man die Veraschung von mehreren der gleichen Art angehörenden, aber auf verschiedenem Standort gewachsenen Pflanzen vornimmt, denn die Zusammensetzung der Aschen fällt nicht gleich aus und die Verschiedenheit erstreckt sich nicht nur auf die Menge der teilnehmenden Stoffe, sondern es können wohl auch einzelne ganz fehlen, dagegen andere neu hinzugekommen sein. Trotz dieser beträchtlichen Differenzen im Gehalt an Gesamtasche wie deren Bestandteile handelt es sich doch in all solchen Fällen um völlig normal und gleichmäßig ausgebildete Pflanzen, selbst dann, wenn z. B. der Gehalt an Kali zwischen 10 und 50 %, an Kalk zwischen 4 und 40 %, an Natron zwischen 0 und 25 % schwankt.

Dementsprechend dürfen wir wohl zusammenfassend sagen, die Aschenanalyse, die uns die bloße Gegenwart anorganischer Elemente in der Pflanzenasche und damit Pflanze übermittelt, gibt uns keine Sicherheit für die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile oder dafür, daß diese Elemente als konstituierende Bestandteile der Pflanze aufgefaßt werden müssen. Es werden vielmehr in der Asche stets Stoffe entbehrlicher und unentbehrlicher Natur nebeneinander vorhanden sein, weil jeder Erdboden solche in aufnehmbarem Zustande enthält und die Pflanze diese ohne Wahlvermögen mit dem Wasser, in dem sie gelöst sind, in sich aufnimmt.

Somit mußte man versuchen, auf andere Weise zum Ziele zu kommen, was aber nur geschehen konnte, wenn man die Pflanze in einem von allen sonstigen Einflüssen befreiten, also dem natürlichen Boden gegenüber künstlichen Medium zog, und zwar derart, daß man ihr die einzelnen Stoffe, deren Unentbehrlichkeit oder Entbehrlich-

keit nachgewiesen werden sollte, reichte oder nicht reichte, um aus dem Erfolge dieser Maßnahmen den zwingenden Schluß für ihre notwendige Anwesenheit abzuleiten. Eine solche umständliche Beweisführung benötigten wir aber, um es nochmals zu betonen, für den Nachweis der Unentbehrlichkeit der verschiedenen organischen Stoffe in der Pflanze nicht, und zwar allein schon aus dem Grunde nicht, weil sich alle derselben aus ein und denselben Stoffen CO_2, H_2O und N aufbauen und ihre Unentbehrlichkeit ohne weiteres daraus hervorgeht, daß ein Fehlen eines dieser Stoffe in der Pflanze überhaupt nicht beobachtet wird, noch festgestellt werden kann.

Wie wir sehen, war der gewünschte Beweis nicht leicht und schnell zu erbringen, und es ist daher kein Wunder, wenn wir feststellen müssen, daß die Wissenschaft geraume Zeit gebraucht hat, um den wirklichen Zusammenhang der hier vorliegenden Verhältnisse klarzulegen. Anfänglich hielt man die Aschenbestandteile für Verbrennungsprodukte in der Art der Metalloxyde und noch bis in den Anfang des neunzehnten Jahrhunderts begegnet man hier und da solcher Ansicht. Späterhin herrscht dann fast ganz allgemein die Auffassung, daß die Aschenbestandteile ohne Bedeutung für die Pflanze seien und deshalb entbehrt werden könnten. Zu dieser Zeit glaubte man auch, daß die in Rede stehenden Stoffe dem besonderen Vorgange des Lebensprozesses der Pflanzen ihre Entstehung aus anderen Elementen zu verdanken hätten, eine Lehre, die uns nach unseren heutigen Begriffen von der Wandlung der chemischen Körperwelt als recht abenteuerlich erscheint. Erst viel später vermochte sich die heute noch als zutreffend anerkannte Auffassung von der Bedeutung der Aschenbestandteile als integrierende Bestandesmasse der Pflanze durchzusetzen, und zwar geschah dies auf Grund oder als Folge der oben dargelegten Versuchs- bezw. Forschungsmethode.

Wir können, wenn wir die geschichtliche Entwicklung des bedeutsamen Problems der Aschenbestandteile auch nur streifen wollen, nicht die von der Berliner Akademie der Wissenschaften im Jahre 1800 gestellte Preisausgabe unberücksichtigt lassen, denn zeigt sie uns doch aufs deutlichste, wie sehr sich derartige Ansichten wie die obigen noch zu damaliger Zeit breit machten. Aber nicht nur die Frage, sondern auch die Antwort ist in gleicher Weise ein beredtes Zeugnis hierfür. Erstere lautete: „Von welcher Art sind die erdigen Bestandteile, welche man mit Hilfe der chemischen Zergliederung in den verschiedenen inländischen Getreidearten findet? Treten diese in solche so ein, wie man sie findet, oder werden sie durch die Wirkung der Organe der Vegetation erzeugt?“ Die aber von Schrader gegebene Antwort ging dahin, daß der Lebensprozeß der Pflanze, ein damals noch völlig unverständliches, vitales Agens, die Schuld daran trage. Mit Recht weist Adolf Mayer darauf hin, daß eine solche Stellungnahme „nur durch den verwüstenden

Einfluß der sogenannten Naturphilosophie zumal in Deutschland auf die physiologischen Wissenschaften erklärt werden" könne. Andererseits dürfen wir nicht vergessen, daß man in der Landwirtschaft zur damaligen Zeit noch ganz auf dem Boden der sogen. Humustheorie stand und in ihren Lehren befangen war. Der im Sinne seiner Zeit umfassend naturwissenschaftlich durchgebildete Arzt Albrecht Thaer hatte nämlich auf seine praktischen Erfahrungen in der ausübenden Landwirtschaft und auf Grund zahlreicher Untersuchungen des Bodens und von Düngemitteln gestützt die genannte Theorie entwickelt, die nahezu ein halbes Jahrhundert die Landwirtschaft beherrschte und nach welcher die Pflanze allein von den in Zersetzung begriffenen organischen Stoffen, also gewissermaßen vorgebildeten, komplexen organischen Substanzen leben sollte. Infolge dieser Ansicht fiel dem Erdboden lediglich die Aufgabe zu, als Standort der Pflanze zu dienen, indem der Boden die Aufnahme der Pflanzennahrung aus dem Humus übermitteln sollte. Die damals auch schon bekannte günstige Wirkung des Kalks und Mergels auf die Vegetation wurde als Folge eines Reizes gedeutet, und Thaer legte den durch die Verbrennung der Pflanze erhaltenen Aschebestandteilen gar keine Bedeutung bei, sondern hielt sie für zufällige Produkte des pflanzlichen Lebensvorganges.

Jedoch bereits 1804 sprach sich Th. de Saussure als erster gegen solche Ansichten, wie sie noch von Schrader bei der Beantwortung jener oben angeführten Preisaufgabe vertreten worden waren, aus, indem er wenigstens für Phosphorsäure, Kali und Kalk eine wichtige Beteiligung am Ernährungsprozeß der Pflanze annahm. Doch da er hieraus noch keinen praktischen Schluß auf die Anwendung solcher Stoffe für die Düngung zog, so wurde seiner Auffassung nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt, und sie geriet infolgedessen bald wieder in Vergessenheit. Sodann sprach sich Humphry Davy in seinen Elementen der Agrikulturchemie vom Jahre 1804 gegen die Ansicht aus, daß Gips, Alkalien und sonstige Salze nur als Reizmittel anzusehen seien, er hielt vielmehr solche für einen Teil der die Pflanzennahrung ausmachenden Stoffe in der Art, wie sie im tierischen Körper den Knochensubstanzen eigentümlich seien. Aber als besonders bezeichend für den damaligen Zustand der Kenntnisse von den Aschenbestandteilen sei der Ausspruch des Direktors Schwarz von Hohenheim aus dem Jahre 1820 angeführt. „Die Wirkung der tierischen Pflanzendüngung ist wunderbar, ist unbegreiflich, es ist ein gordischer Knoten, die Grenze aller Naturwissenschaft und das was jenseits der Grenze liegt, deckt Isis mit ihrem Schleier".

Während Sprengel im Jahre 1830 noch in Deutschland die Nutzlosigkeit einer Knochendüngung lehrte, führte man in England jährlich Millionen Zentner Knochen zur Erhaltung des Fruchtbarkeitzustandes

der Ackerböden ein, und der berühmte schwedische Chemiker Berzelius vertrat in seinem Lehrbuch der Chemie noch acht Jahre später die Ansicht von der alleinigen Brauchbarkeit der organischen Düngemittel als Pflanzennährstoffe. Ganz besonders interessant ist es aber, wenn wir in der preisgekrönten Schrift von Hlubek über die Ernährung der Pflanze und Statik des Landbaus aus dem Jahre 1841 als Kritik über Liebigs soeben erschienenem Werk „Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie" lesen: „wollten wir dieses, die Unwissenheit in der Landwirtschaft in allen seinen Teilen beurkundende und Hypothesen über Hypothesen schmiedende Werk weiter verfolgen, so müßten wir die Grenzen der gegenwärtigen Abhandlung zu weit überschreiten; wir erlauben uns nur unsere Amts- und Erwerbsgenossen vor dem falschen Propheten zu warnen."

Jedoch schon um diese Zeit hatten Sprengel und Boussingault für die kommende Mineraltheorie Bresche geschlagen, indem namentlich ersterer in seiner Bodenkunde von 1837 ausführte, daß die Unfruchtbarkeit der Böden durch den Mangel an Nährstoffen mineralischer Art verursacht werde. Hieraus geht mit deutlicher Schärfe hervor, daß er die teilweise Unentbehrlichkeit der Mineralstoffe vollauf erkannt und gewürdigt hat, was denn auch durch seine Düngelehre aus dem Jahre 1839 vollauf Bestätigung findet, insofern hier schon von Fe, Mn, Mg, K, Na, Cl, P_2O_5 und SO_3 als von notwendigen Bestandteilen eines fruchtbaren Bodens gesprochen wird.

Wir müssen dementsprechend auch Sprengel das große Verdienst einräumen, schon vor Liebig die Grundzüge der Mineraltheorie, wie wir diese Lehre heute nennen, entwickelt zu haben. Was ihn von dieser, von Justus von Liebig begründeten, Theorie noch trennt, ist, daß Sprengel die düngende Wirkung z. T. noch durch die Aufnahme von Humusstoffen erklärte. Aber auch die Anschauungen Sprengels über das Wesen der Aschenbestandteile vermochten sich zunächst nur wenig Geltung zu verschaffen und erst J. von Liebig gelang es, der Mineraltheorie zum endgültigen Siege zu verhelfen. Dabei ist es nun außerordentlich interessant festzustellen, daß Liebig in seinen so berühmt gewordenen diesbezüglichen Thesen von 1840 durchaus nichts anderes als Sprengel vorzubringen vermocht hat, und daß er ebenso wenig wie sein Vorgänger eine experimentelle Beweisführung für seine Lehre erbrachte. „Beide kannten", so äußert sich Adolf Mayer über das in Rede stehende Verhältnis, „den Gehalt einer Reihe von Gewächsen an Aschenbestandteilen, die im großen und ganzen dieselben waren; beide schlossen bei dieser Übereinstimmung der Resultate der Aschenanalysen, daß die Bestandteile nichts Zufälliges sein konnten; beide wußten ferner, durch eine glückliche Kombination gewisse Erscheinungen in der landwirtschaftlichen Praxis, als da sind die Unfruchtbarkeit mancher Länder-

reien, die auffällige Wirkung mancher Düngemittel, in Beziehung zu jener Erkenntnis zu bringen, und so kamen beide zu wesentlich der gleichen Theorie der Pflanzenernährung, und Sprengel gebührt in Bezug auf diese ohne alle Widerrede die Priorität."

Dennoch war aber ein greifbarer Unterschied vorhanden, denn Liebigs umfassenderer Geist erfaßte die Wichtigkeit und den Zusammenhang der ganzen Erscheinungen in weit hervorragendem Maße und wußte sie, gestützt auf seine eigene wissenschaftliche Autorität der Mitwelt verständlicher und zugänglicher zu machen. In diesem Sinne sagt denn auch der von uns schon mehrfach herangezogene Agrikulturchemiker Adolf Mayer: „Diese Einsicht, die ihn ohne Zweifel über diejenigen Zeitgenossen, die zur selben naturwissenschaftlichen Erkenntnis gelangt waren, und zu einem wirklichen Reformator der physiologischen Wissenschaften erhebt, hatte ihn befähigt, jene schöne eindringliche Sprache zu reden, die seinem Buche einen so großen Leserkreis verschafft hat."

Liebigs Hauptwerk erlebte von 1840 in rascher Folge verschiedene Auflagen und schon bald brachte Liebig seine Thesen in eine quantitative Form. Als eine solche Formulierung muß uns besonders folgende interessieren: „Die Ernten aus einem Felde fallen oder steigen in genauer Proportion zu der Verminderung oder Vermehrung der ihm als Düngung zugeführten mineralischen Bestandteile". Wir erblicken darin schon Anklänge an das später von ihm begründete Gesetz vom Minimum, welches als Grundlage der gesamten Düngelehre uns noch zu beschäftigen haben wird. Mit der Wirksamkeit Liebigs beginnt eine neue Epoche der Naturwissenschaft, die durch die Vorherrschaft der Mineraltheorie gekennzeichnet ist.

Einen wirklichen Beweis erfuhren die Behauptungen Saussures, Sprengels und Liebigs jedoch von anderer Seite, und es wurde erst hierdurch eine sichere und feste Grundlage, die alte Irrtümer nicht wieder aufkommen ließ, geschaffen, und zwar war es die Universität Göttingen, die die eigentliche Veranlassung dazu gab. In wahrer Werteinschätzung der Frage nach der großen Bedeutung der Aschenbestandteile für den pflanzlichen Organismus stellte auch sie, wie 40 Jahre früher die Berliner Akademie, eine unseren Gegenstand betreffende Preisaufgabe, aber sie war präziser gefaßt und klarer durchdacht, so daß auch die Antwort eine bestimmtere Fassung bringen mußte. Sie fragte: „Ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in denselben sich finden, wenn sie ihnen nicht dargeboten werden, und ob jene Elemente so wesentliche Bestandteile des vegetativen Organismus seien, daß dieser sie zu einer völligen Ausbildung bedürfe"?

Wiegmann und Polstorff lösten die gestellte Aufgabe auf experimentellem Wege und der Preis wurde ihnen zuerkannt. Sie waren

zu dem Ergebnis gelangt, „daß das Wachstum der Pflanzen sehr behindert und fast ganz unterdrückt werde, sobald nicht eine gewisse Menge anorganischer Bestandteile im auflöslichen Zustande im Boden zugegen sei". Durch diese Antwort war aber sowohl die Unentbehrlichkeit gewisser Aschenbestandteile wie auch die Unmöglichkeit ihrer Neubildung durch den Lebensvorgang der Pflanze erwiesen, und zwar war das Resultat, um es nochmals zu betonen, rein induktiv gewonnen worden. Sie hatten die verschiedensten Kulturpflanzen wie Wicke, Klee, Roggen, Hafer, Buchweizen und Tabak in einem sterilen Quarzsand, der vor dem Versuch mit Königswasser behandelt worden war, gezogen, und zwar einmal nur unter Darreichung von destilliertem Wasser, andermal unter Verabfolgung einer wässerigen Lösung derjenigen Mineralstoffe, die im natürlichen Boden sowie in der Pflanze enthalten sind. Das verschiedene Wachstum der Pflanze ließ keine andere Beantwortung, wie die oben wiedergegebene, zu. Da sich aber trotzdem noch Bedenken einstellten, ersetzte man in einem erneuten Versuch mit Kresse den Sand mit feingeschnittenem Platindraht. Die ohne Mineralstoffe gezogenen Pflänzchen entwickelten sich sehr kümmerlich und enthielten nicht mehr Asche als die ausgelegten Samen. Damit war denn in der Tat der experimentelle Beweis für die von Wiegmann und Polstorff gezogene Schlußfolgerung erbracht, aber die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile ergab sich aus diesen Untersuchungen doch nur ganz im allgemeinen, insofern, als bei den Experimenten der genannten Autoren eine große Anzahl von Aschenbestandteilen gleichzeitig gegeben oder den Pflanzen vorenthalten worden war. Die Unentbehrlichkeit eines jeden einzelnen anorganischen Elementarstoffes mußte also erst erbracht werden, und es begann infolgedessen eine lange Reihe von Kulturversuchen in künstlichen Nährstoffträgern, um dieses Ziel zu erreichen.

Als derartige Nährstoffträger kamen besonders zwei in Frage, und es greifen unsere heutigen Pflanzenkulturversuche auf die damals eingeführten Methoden zurück. Die eine Methode bediente sich des Wassers als Medium, wir nennen sie Wasserkultur, sie wurde besonders durch Sachs, Knop, Nobbe, Stohmann, Heiden u. a. befolgt. Die andere suchte sich durch Präparierung künstlicher Bodengemische aus indifferenten Materialien ein mehr den natürlichen Wachstumsbedingungen angepaßtes Medium zu verschaffen, und es kam als ein solches Substrat namentlich gereinigter und geglühter Sand in Frage. Salm-Horstmar und Hellriegel waren die Hauptvertreter, die sich dieser Methode bedienten, und damit zu Begründern der Sandkulturmethode, wie man sie heute noch nennt, wurden. Die auf die genannte Art methodischer Versuchsanordnung ausgeführten Forschungen suchten die Frage klar zu stellen, ob alle durch die Aschenanalysen

in den höheren Pflanzen aufgefundenen Elemente für die Produktion organischer Pflanzensubstanz unentbehrlich seien oder nicht.

Nachdem es gelungen war, die Pflanze in einem chemisch völlig bekannten „Nährboden" oder „Standort" zur Vollendung ihrer Vegetation zu bringen, konnte man einen Schritt weiter gehen, indem man durch Fortlassen eines oder mehrerer Bestandteile deren Bedeutung für das Wachstum zu ergründen suchte. Es bildete sich auf diese Weise die „Differenzmethode" aus, die der Agrikulturchemie so viele gute Dienste geleistet hat und noch dauernd leistet. Beiden Methoden der Pflanzenkultur, Wasser- und Sandkultur, ist gemeinsam, daß sie die Nährstoffe den Pflanzen in gelöster Form darbieten, was aber den natürlichen Bedingungen der Nährstoffzufuhr aus dem Boden nur teilweise entspricht. Es liegt daher die Frage sehr nahe, wie Adolf Mayer mit Recht hervorgehoben hat, warum man nicht zur Ergründung der in Rede stehenden Verhältnisse einen Weg wählte, der den natürlichen Standortsverhältnissen näher kommt, insofern man den Boden selber unter Hinweglassung des einen oder mehrerer seiner Bestandteile für den gedachten Zweck heranzieht. Jedoch, da es sich als völlig unmöglich erweist, Bodengemische, denen ein oder mehrere Nährstoffe fehlen, herzustellen, so war dieser Weg von Anfang an ungangbar. Dies geht nur für den Stickstoff, weil dieser leicht durch Glühen aus dem Boden zu entfernen ist, doch wir haben diesen Stoff, wie wir wissen, den organischen Nährstoffen zuzurechnen, und er fällt somit für unsere Frage der Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile fort. Überhaupt leiden beide Methoden, worauf an dieser Stelle aufmerksam gemacht sein möge, darunter, daß die natürlichen Bedingungen des Standortes nur sehr unvollkommen nachgeahmt werden, somit manche Erscheinungen, die für die Pflanzenernährung von höchster Bedeutung sind, keine Berücksichtigung erfahren. Es ergaben sich infolgedessen auch mancherlei Komplikationen in der Verabreichung der Nährstoffe, die aber alle erst aufgedeckt werden mußten, so u. a. die Konzentration der Nährstofflösung u. dergl. mehr.

Es wird daher empfehlenswert sein, ein paar ganz allgemeine Bemerkungen über Darstellung und Zusammensetzung derartiger Wasserkulturlösungen, deren es allerdings eine Unzahl sehr verschiedener gibt, zu machen. Die Bereitung derselben ist an und für sich nicht schwierig, jedoch sind alle Nährsalze aus gewissen Gründen nicht anwendbar.

Seit den Zeiten Knops haben sich als Nährsalze besonders empfehlenswert saures phosphorsaures Kalium (KH_2PO_4), salpetersaures Kalium (KNO_3), salpetersaurer Kalk ($Ca(NO_3)_2$), schwefelsaure Magnesia ($MgSO_4$) und frisch gefälltes Eisenphosphat oder Eisenchlorid herausgestellt. Allerdings müssen sie, wie soeben schon hervorgehoben, in geeigneter Konzentration in der Lösung zugegen sein, denn starke Kon-

zentrationen vermag die Pflanze nicht zu ertragen. Auch ist das Verhältnis der einzelnen Salze untereinander nicht ohne Einfluß und Bedeutung.

Um eines der vielen Beispiele herauszugreifen, empfiehlt es sich nach Rob. Sachsse eine solche Kulturlösung folgendermaßen zu bereiten, allerdings eine Nährstofflösung, die als eine vollgültige anzusehen ist, da sie sämtliche zum Gedeihen der Pflanzen notwendigen Nährstoffe führt. Versuche über die Entbehrlichkeit einzelner Aschenbestandteile können natürlich mit einer solchen nicht durchgeführt werden. Hierzu bedürfte es einer entsprechenden Modifikation durch Fortlassung eines oder mehrerer Nährstoffe aus der Lösung.

Sachsse nimmt 200 g $Ca(NO_3)_2$, 50 g KNO_3 und 50 g KH_2PO_4 und löst diese in $17^1/_2$ Liter destillierten Wassers. Dann werden gleichfalls 100 g $MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$, oder wenn das Salz wasserfrei ist, nur die Hälfte davon, in $17^1/_2$ Liter Wasser gelöst und von beiden Lösungen je 100 ccm gemeinsam auf 10 Liter Wasser verdünnt, welcher Lösung einige Tropfen einer $FeCl_3$-Lösung hinzugefügt werden. Die getrennte Bereitung beider Lösungen muß aus dem Grunde geschehen, weil bei gleichzeitiger Lösung von $MgSO_4$ und $Ca(NO_3)_2$ eine Ausscheidung von Gips ($CaSO_4$) erfolgen würde, in der stark verdünnten Lösung kann es aber zu keiner Gipsbildung wegen der Löslichkeit des Gipses kommen. Die auf diese Weise erhaltene 2 ‰ige Lösung eignet sich unmittelbar für einen Wasserkulturversuch.

Bezüglich des Einflusses der Konzentration der Nährlösungen auf das Pflanzenwachstum mögen noch einige Zahlenangaben aus Versuchen von Nobbe und Siegert folgen, die uns zugleich erkennen lassen, daß sich die verschiedenen Pflanzen dem Konzentrationsgrad gegenüber recht abweichend verhalten:

Konzentration der Lösung	Erntegewicht in g	
	Gerste	Buchweizen
reines destilliertes Wasser .	0,10	0,14
0,5 ‰ige Lösung . . .	8,02	3,90
1,0 „ „	10,25	4,91
2,0 „ „	11,12	8,08
3,0 „ „	12,65	9,56
5,0 „ „	7,02	11,35
10,0 „ „	2,50	5,09

Es läßt sich also aus diesen Zahlen deutlich entnehmen, daß Buchweizen gegenüber Gerste eine höhere Konzentration der Nährlösung vertragen kann, obgleich er an und für sich anspruchsloser als die Gerste ist.

Nach der Feststellung der Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile in ihrer Gesamtheit, werden wir uns im nächsten Kapitel mit den einzelnen Aschenbestandteilen in genannter Beziehung zu beschäftigen

haben, was aber im Grunde nichts anderes besagt, als daß wir den physiologischen Funktionen der einzelnen Mineralstoffe des Pflanzenkörpers nachzuspüren haben. Das ist aber eine Aufgabe, die von jeher außerordentlichen Schwierigkeiten begegnet ist und auch begegnen mußte, weil bei dem Ausschluß eines für die Pflanzenernährung absolut unentbehrlichen Bestandteils der Ernährungsprozeß unterbunden wird und die Pflanze infolgedessen schnell verkümmert und eingeht, wodurch aber das Studium der physiologischen Funktion des betreffenden Stoffs zur Unmöglichkeit wird.

Nach unseren voraufgegangenen Erörterungen ist es ohne weiteres klar, daß zwar jeder für den Pflanzenkörper unentbehrliche Mineralbestandteil bei der Aschenanalyse in der Asche angetroffen werden muß, daß jedoch jeder Aschenbestandteil deswegen noch lange nicht ein unentbehrlicher Nährstoff für die Pflanze zu sein braucht. Andererseits muß auch darauf hingewiesen werden, daß gewisse Aschenbestandteile unter Umständen, nämlich bei allzu starker Erhitzung verflüchtigt werden können und dann in der Asche, obgleich sie ursprünglich vorhanden waren, fehlen. Letzteres trifft z. B. für Schwefel und Chlor besonders zu, aber auch Alkalien können durch einen solchen Vorgang stark vermindert werden. Da, wie wir gehört haben, C, H und N durch den Verbrennungsprozeß zu flüchtigen Substanzen umgewandelt werden, so sind im Verbrennungsrückstand alle übrigen Elemente, die sich am Aufbau der Pflanze beteiligt haben, enthalten. Auch Sauerstoff ist zugegen, da er mit vielen Aschebestandteilen verbunden ist. Aufgefunden ist in der Pflanzenasche ein sehr großer Teil der überhaupt bekannten Elemente, so F, Cl, Br, J, Se, Te, P, As, Si, B, K, Rb, Cs, Na, Li, Ca, Sr, Ba, Mg, Al, Ti, Cr, Mn, Sn, Sb, Pb, Tl, Zn, Hg, Cu, Ag, Fe, Co und Ni, allerdings der Menge nach in sehr verschiedener Anteilnahme. Während nun aber einzelne der aufgezählten Elemente sich nur ganz selten und in ganz geringen Mengen einstellen, kommen andere stets und ständig vor. Zu diesen letzteren gehören vor allen Dingen: Cl, S, P, Si, K, Na, Ca, Mg und Fe, dann aber noch F, J, Al und Mn.

Da die Mineralbestandteile mit dem Wasserstrom durch die Wurzel in die Pflanze gelangen, so ist es leicht verständlich, daß Pflanzen mit starker Transpiration, also Wasserverdunstung, auch eine große Menge von Aschenbestandteilen aufweisen, und daß dort, wo die Verdunstung der Pflanze am größten ist, wie in den Blättern, sich auch der höchste Mineralstoffgehalt vorfindet, während andererseits in den Stielen und Stengeln der Gehalt daran vermindert ist. In den Blättern vermag sich der Aschengehalt infolgedessen äußerst stark anzureichern, wie z. B. bei der Runkelrübe bis zu 30 %, ja, es sollen sogar noch aschenreichere Blätter bei einigen Kräutern beobachtet worden sein. Daher steht denn auch mit der Aufnahme der Aschenbestandteile die Erscheinung im Zu-

sammenhang, daß in den Säften der Pflanze, die in den Zellen das Protoplasma, den Zellkern und die Chlorophyllkörner durchtränken, immer eine gewisse Menge der Mineralsalze in Lösung zugegen ist, während nur wenige ganz bestimmte Elemente als feste Körper in den Zellwandungen eingelagert angetroffen werden. Andererseits ist auch ein Teil der Mineralstoffe in enger Verbindung mit den organischen Stoffen der Pflanze vorhanden, wie wir dieses für den S und P schon bei der Besprechung der Zusammensetzung der Eiweißkörper und Phosphatide und dergleichen Körper erfahren haben. Aber auch K, Ca, Mg und Fe sind z. T. in solchen hochmolekularen organischen Verbindungen als konstituierende Bestandteile derselben vorhanden, wie wir dieses z. B. von Mg und Fe bei der Besprechung des Blatt- und Blutfarbstoffs erkannt haben. Aus dieser Art des Vorhandenseins kann schon allein auf die Bedeutung genannter Mineralbestandteile für die Bildung dieser Substanzen geschlossen werden, wie wir dieses im Verlauf unserer weiteren Erörterungen noch eingehender erfahren werden. Aber leider liegen die Verhältnisse nicht immer so klar wie in besagten Fällen, so daß wir nicht immer volle Gewißheit über den physiologischen Wert und die Aufgabe der Mineralstoffe für den pflanzlichen Organismus besitzen. Wie sehr dies der Fall ist, werden wir bei der Einzelbehandlung eines jeden Aschenbestandteils alsbald erfahren. Um aber einen Einblick in die Anteilnahme der Aschenbestandteile an der Zusammensetzung der verschiedensten Pflanzen zu gewinnen, seien einige Zahlenergebnisse von Aschenanalysen nach Jost mitgeteilt. Sie geben uns ein Bild von der außerordentlichen Mannigfaltigkeit der Aschenzusammensetzung und zeigen, daß selbst Elemente, denen sicherlich die Unentbehrlichkeit nicht zugesprochen werden kann, dennoch in vorherrschender Menge vertreten sein können.

In 100 Teilen Reinasche sind enthalten:

	Reinasche %	Kali K_2O	Natron Na_2O	Kalk CaO	Magnesia MgO	Eisenoxyd Fe_2O_3	Phosphorsäure P_2O_5	Schwefelsäure SO_3	Kieselsäure SiO_2	Chlor Cl
Tabakblätter .	17,16	29,09	3,21	26,02	7,36	1,95	4,66	6,07	5,77	6,71
Kartoffelknollen . .	3,79	**60,06**	2,96	2,64	4,93	1,10	16,86	6,52	2,04	3,46
Spinat . . .	16,48	16,56	**35,29**	11,88	6,38	**8,35**	10,25	6,87	4,52	6,20
Eichenrinde .	7,20	4,36	6,34	**92,82**	1,19	0,29	0,39	0,27	0,55	—
Rotklee . .	6,86	32,29	1,97	34,91	10,90	1,08	9,64	3,23	2,69	3,78
Weizenkörner	2,14	30,51	1,74	2,82	**11,96**	0,51	**48,94**	1,32	1,46	0,47
Meerrettichwurzel . .	8,47	38,96	2,10	10,10	3,66	1,51	10,39	**24,72**	7,20	1,36
Schachtelhalm	**26,75**	8,01	0,63	8,63	1,81	1,42	1,37	2,83	**70,64**	5,59
Selleriewurzel	11,04	43,19	—	13,11	5,82	1,41	12,83	5,58	3,85	**15,87**

a) Der Aschenbestandteil Schwefel

Über das Vorkommen des Schwefels in der Asche der Pflanzen haben wir uns schon geäußert und wir wissen auch schon, daß Schwefel in gewissen Eiweißverbindungen vorhanden ist, müssen aber noch hinzufügen, daß er auch in Form der Senföle in einigen Pflanzen angetroffen wird. Schon allein aus diesen Vorkommnissen ergibt sich für den Schwefel seine Unentbehrlichkeit. Sie wird auch unzweifelhaft durch den Vegetationsversuch dargetan, denn Versuche dieser Art mit höheren Pflanzen haben allemal gezeigt, daß der Ausschluß des Schwefels aus der Nährlösung schon mehr oder minder schnell eine recht mangelhafte Ausbildung der Pflanze nach sich zieht, so daß eine normale Pflanzenproduktion ohne Schwefel nicht erreicht wird.

Ebenso wie Kohlenstoff und Stickstoff gewöhnlich von der Pflanze in der höchstoxydierten Form, nämlich als CO_2 und N_2O_5 (Nitrat) aufgenommen werden, so ist dies auch beim Schwefel der Fall. Er wird also in der Form der Sulfate assimiliert, und eine solche Möglichkeit besteht ja ständig im Boden, insofern als dort eine Oxydation niederer Oxydationsstufen des Schwefels zu Schwefelsäure leicht erfolgen kann. Es kommen somit in der Hauptsache die leicht und leichter löslichen Sulfate des K, NH_4 sowie auch solche des Mg, Ca und Na für die Aufnahme in Frage. Das sind bekanntermaßen aber auch sämtlich Salze, die wir bei der Düngung dem Boden in mehr oder minder großer Menge reichen. Während besagtes allgemein für die höheren Blütenpflanzen gilt und somit für unsere Verhältnisse nur in Frage kommt, vermögen auch niedere Pflanzen, wie z. B. Pilze thioschwefelsaure und schwefligsaure Salze zu verwerten.

Jedoch für die Zwecke der Düngerlehre müssen wir noch etwas näher auf den Einfluß der niedrigen Oxydationsstufen des Schwefels auf die höhere Pflanze eingehen. K. Negami[1]) hat u. a. die Beobachtung gemacht, daß eine 2-prozentige Kaliumsulfitlösung schon nach zweitägiger Einwirkung auf Zwiebelpflanzen und auf Gerste einen derartig giftigen Einfluß hervorrief, daß die Pflanzen schon nach fünf Tagen teilweise abstarben. Auch Birner und Lucanus[2]) berichten über ähnliche Ergebnisse mit Magnesiumsulfit, und sie halten die schweflige Säure auch in Verbindung mit Basen nicht als Pflanzennährstoffmittel geeignet, aber sie erkannten auch schon, daß die tödlichen oder schädlichen Einflüsse besagter Stoffe im Verlauf ihrer Wasserkulturversuche dann behoben werden, wenn eine Oxydation derselben zu Sulfaten erfolgt war. Ebenso wie die schweflige Säure und die schwefligsauren Salze wurde der Schwefelwasserstoff als tödliches Gift für höhere Pflanzen

[1]) K. Negami, Journ. of the Coll. of Science. 9. Tokio 1896.
[2]) Birmer u. Lucanus, Landw. Vers.-Stationen 8, 1866, S. 153.

erkannt, so daß Adolf Mayer[1]) in Bezug auf die Verwendung des Schwefelverbindungen enthaltenden Gaskalkes sagt: „Die Gefahr liegt in dem schwefligsauren Kalke und dem Schwefelkalzium, daher es geboten ist, das Produkt an der Luft auszubreiten, bevor man es verwendet.“ Hieraus geht hervor, daß genannter Autor den Sauerstoff der Luft für die Oxydation bezw. Umwandlung in Sulfat als ausreichend erachtet, und es stehen auch alle sonstigen Mitteilungen mit der Ansicht in Einklang, daß nur die höchstoxydierte Schwefelverbindung zur Assimilation geeignet ist. Sehr eingehend hat sich jedoch A. Stutzer[2]) mit der Aufnahme von Schwefel in niedriger Oxydationsstufe beschäftigt, wodurch er zu dem Ergebnis gelangte, daß zwar das an und für sich nicht günstig auf den Pflanzenwuchs einwirkende Bisulfit schon durch Beigabe von kohlensaurem Kalk in seinem schädlichen Einfluß herabgemindert werden kann und, daß neutrale schwefligsaure Salze in angemessener Verdünnung überhaupt keinen nachteiligen Einfluß ausüben. Auch die Versuche W. Thalaus[3]) haben eine Beeinträchtigung des Pflanzenwuchses durch Sulfite z. T. nicht in Erscheinung treten lassen, H. Kappen[4]), Bigelow[5]) und Titoff[6]) wie auch Blanck[7]) haben dargetan, daß es sich in solchen Fällen um eine Umwandlung des Sulfits in Sulfat handelt. Sie erfolgt im Boden verhältnismäßig schnell und scheint sich vorzugsweise unter dem Einfluß mikrobieller Tätigkeit zu vollziehen.

Wenn es demnach als erwiesen anzusehen ist, daß der Schwefel in der Form des Sulfats von der höheren Pflanze aufgenommen wird, so muß nach der Aufnahme zunächst eine Reduktion des Schwefels in der Pflanze stattfinden, wenn der Schwefel in das Molekül der Eiweißverbindungen eintreten soll, geradeso wie dies bei dem vorerwähnten hochoxydierten Kohlenstoff und Stickstoff für den gleichartigen Zweck der Fall ist. Aber über den Vorgang selbst sowie über den Ort, wo er sich abspielt, ist uns wenig oder nichts bekannt. Jedenfalls werden aber die reduzierten Schwefelverbindungen dem Eiweißmolekül eingefügt, bezw. dessen schwefelhaltiger Komponente, dem Cystin, jener uns schon bekannten Diaminodithiopropionsäure. Daneben wird der Schwefel, wie schon erwähnt, bei manchen Pflanzen zur Bildung von Senfölen verwandt, von denen das in den Senfsamen vorkommende Allylsenföl

---

[1]) A. Mayer, Düngerlehre II, 1902, S. 201.

[2]) A. Stutzer, Deutsche Landw. Presse 1902, II, S. 725. Naturwiss. Zeitschr. f. Land- u. Forstw. 9, 1911, S. 164.

[3]) W. Thalau, Landw. Vers.-Stationen 82, 1913, S. 289.

[4]) H. Kappen u. E. Quensell, Landw. Vers.-Stationen 86, 1915, S. 1.

[5]) Bigelow, Zeitschr. f. Phys. Chem. 26, S. 403.

[6]) Titoff, desgl. 45.

[7]) E. Blanck, Zeitschr. f. Pflanzenernährung usw. II. Bd., S. 433.

das bekannteste ist. Die Senföle sind Isothiocyansäureester, die man synthetisch durch Behandlung der Isocyansäureester mit P_2S_5 oder auch bei der Destillation von cyansaurem Kalium, KCNO, mit alkylschwefelsauren Salzen erhalten kann. Desgleichen entstehen sie aus dialkylierten Thioharnstoffen durch Destillation mit HCl oder P_2O_5. Dem Allysenföl kommt die Formel $CS:N \cdot C_3H_5$ zu. Es ist ein übel und stechend riechendes, in Wasser kaum lösliches Öl, das auch aus dem Samen des schwarzen Senfes vermittels Destillation mit Wasser gewonnen werden kann. Dasselbe ist nicht mit dem Knoblauchöl von *Allium sativum*, das einen Thioäther darstellt, zu verwechseln. Letzterem kommt die Formel $(C_3H_5)_2S$ zu, und es wird synthetisch aus Allyljodid und Kaliumsulfid dargestellt.

Im tierischen Organismus muß nun aber nach unseren früheren Auseinandersetzungen wiederum eine Oxydation der mit der Nahrung (Eiweiß) aufgenommenen Schwefelverbindungen eintreten, und so verläßt in der Tat der Schwefel den Tierkörper wieder in hochoxydierter Form, nämlich in Gestalt von Schwefelsäure im Harn.

Wie wir soeben gehört haben, ist für höhere Pflanzen und für die Tiere der Schwefelwasserstoff ein heftiges Gift, dagegen vermögen die farblose Fadenbakterie *Beggiatoa* und die rot gefärbten *Chromatium*-Arten durch Oxydation des H_2S zu S und H_2SO_4 die chemische Energie zu gewinnen, die sie zum Aufbau organischer Substanz aus CO_2 befähigt. Schwefelwasserstoff bildet sich u. a. auch bei den Fäulnisvorgängen aus dem Schwefel der Proteine, und zwar sowohl durch mikrobielle Tätigkeit wie auch auf chemischem Wege vermittels Katalysatoren. Da dieser Schwefelwasserstoff wieder im Boden einer Oxydation unterzogen wird, so erkennen wir einen ununterbrochenen Schwefelkreislauf in der Natur als vorhanden, der, wie wir später noch sehen werden, für noch weit andere Dinge von größter Bedeutung ist.

Daß auch der freie Schwefel sowie die Schwefelmetalle nicht von der Pflanze aufgenommen werden, ergibt sich ohne weiteres aus den bisher gemachten Mitteilungen. Die Aufnahme des Sulfats erfolgt durch die Wurzel, und es fragt sich daher, ob auch Sulfate in der Pflanze vorkommen. Im allgemeinen müssen wir dieses verneinen, denn erfahrungsgemäß wird der Schwefel in Form von Schwefelwasserstoff leicht aus der Pflanze abgespalten. Wir brauchen die Pflanzensubstanz ja nur mit Kalium oder Natrium zu erhitzen, wie wir dieses beim qualitativen Nachweis des Schwefels in der Pflanze tun, um den Schwefel als K_2S oder Na_2S zu erhalten. Auch im tierischen Organismus scheint dies nicht viel anders zu sein, denn wir haben uns ja nur daran zu erinnern, daß selbst frische Eier nach Schwefelwasserstoff riechen. Allerdings treten Sulfate nun auch in unseren meisten Kulturpflanzen auf, was für eine Funktion solchen Salzen aber in der Pflanze zukommt,

das vermögen wir zurzeit nicht zu entscheiden. Wir wissen aber ferner auch, daß in gewissen Seepflanzen und auch Equisetaceen eine außerordentliche Anhäufung von Sulfaten stattfindet, ohne daß wir hierfür die Nützlichkeit erweisen könnten. Aus alledem geht hervor, daß der Schwefel sowohl in Verbindung mit C, H, O und N als hochmolekulare organische Substanz oder auch als Sulfat in der Pflanze zugegen sein kann, und wenn wir seine Bedeutung als unentbehrliches Element auch für den ersten Fall ohne weiteres ableiten können, so ist solches für den anderen Fall, bezw. für eine physiologische Funktion der Sulfate in der Pflanze, bisher noch nicht möglich gewesen.

b) Der Phosphor als Aschenbestandteil

Die Wichtigkeit der Phosphorsäure für die Pflanze und die Notwendigkeit, die Pflanze mit diesem Stoff zu versorgen, ist wohl eine der ältesten Erfahrungen der Ernährungsphysiologie und der praktischen Landwirtschaft. Wenn wir darauf hinweisen müssen, daß es bisher niemals gelungen ist, irgendwelche Organismen, also damit auch die höheren Pflanzen, ohne Phosphorsäure zur normalen Entwicklung zu bringen, so ergibt sich hieraus in deutlichster Weise die Unentbehrlichkeit des Phosphors für dieselben. Ohne Phosphorsäurebeigabe angesäte Keimlinge sterben schon nach kurzer Zeit ab, nämlich schon zu jenem Zeitpunkt, wenn der Vorrat an P_2O_5 im eigenen Nährgewebe des Samens erschöpft ist. Oder, setzt man in Wasserkultur befindlichen Pflanzen das saure phosphorsaure Kalium (KH_2PO_4) als Phosphorsäurenahrung hinzu und ermittelt den Säuregrad der Lösung, so kann man schon nach 24 Stunden einen beträchtlichen Rückgang im Säuretiter feststellen, und zwar schon dann, wenn auch nur ganz junge Pflänzchen zum Versuch herangezogen werden. Das heißt aber nichts anderes, als daß der Verbrauch von saurem Phosphat schon recht frühzeitig einsetzt, wie überhaupt die P_2O_5 bezw. das Phosphation PO_4 von Anfang an nicht fehlen darf, sondern reichlich zugegen sein muß, um die Entwicklung der Pflanze zu gewährleisten.

Ohne an dieser Stelle näher auf die Phosphorquellen im Boden und Dünger einzugehen, müssen wir aber auch für dieses Element in gleicher Weise wie beim Schwefel betonen, daß es von der chlorophyllführenden Pflanze gleichfalls nur in höchstoxydierter Form aufgenommen wird, also in Gestalt der phosphorsauren Salze. Demzufolge sind als assimilierbar zu betrachten, erstens diejenigen Phosphate, die wasserlöslich sind, wie die des Kaliums, Natriums und Ammoniums, und zweitens solche, die verhältnismäßig leicht im Boden durch die dort vorhandene Kohlensäure oder Salze, bezw. durch die Pflanzenwurzel selbst vermittels Abscheidung von CO_2 oder organischen Säuren in Lösung gebracht

werden können[1]). Drittens können aber auch an und für sich schwer- und unlösliche Verbindungen der Phosphorsäure, wie Calciumtriphosphat und die Phosphate des Magnesiums und Eisens durch die soeben hervorgehobene Tätigkeit der Pflanzenwurzel noch gelöst werden. Allgemein dürfen wir daher wohl sagen, daß alle orthophosphorsauren Salze zur Aufnahme geeignet erscheinen, jedoch vorausgesetzt, daß sie keine für die Pflanze schädlichen Basenanteile (Kationen) enthalten. Dagegen läßt sich die Orthophosphorsäure durch keine sauerstoffärmere Säure des Phosphors ersetzen. Haben Meta- oder Pyrophosphate bei Versuchen eine Wirksamkeit gezeigt, so ist dies erst nach vorheriger Umwandlung derselben in orthophosphorsaure Salze geschehen. Freier Phosphor, Phosphorwasserstoff, phosphorige und unterphosphorige Salze scheiden als heftige Pflanzengifte ohne weiteres aus. Nach J. Stoklasa[2]) sollen auch Glyzerinphosphorsäure und Lezithin durch die Phanerogamenwurzel eine Resorption finden, jedoch hat J. Schulow[3]) solches nicht zu bestätigen vermocht. Dagegen konnte letzterer unter Ausschluß von Bakterientätigkeit die Aufnahme von Phosphorsäure (Inositphosphorsäure) durch die Wurzeln höherer Pflanzen erbringen.

Wie wir schon verschiedentlich dargetan haben, spielt die Phosphorsäure bezw. das PO_4-Ion in der Pflanze als Bestandteil wesentlich am Aufbau derselben beteiligter Substanzen eine große Rolle. So tritt sie, wie wir schon wissen, in folgenden, äußerst wichtigen Kohlenstoffverbindungen auf, nämlich in der Glyzerinphosphorsäure resp. im Lezithin, Phytin, in den Nukleinen und Nukleoalbuminen. Selbstverständlich muß das Phosphation bei den Vorgängen des pflanzlichen Stoffwechsels, die zur Bildung jener komplizierten Körper führen, Anteil nehmen. Jedoch wir dürfen nicht verschweigen, daß es äußerst schwierig ist, die Einflüsse des Phosphations zu erklären und ihre Ursachen festzustellen. Die physiologische Funktion in der Zelle läßt sich trotz des Vorhandenseins genannter Verbindungen nicht leicht entschleiern. Da nämlich von den Pflanzen noch die geringsten Mengen von Phosphorsäure aufgenommen werden, so läßt es sich äußerst schwer sagen, welche Zellfunktionen bei mangelnder P_2O_5-Zufuhr ungestört fortdauern können.

Selbst wenn die Untersuchung des Problems nach der physiologischen Bedeutung der Phosphorsäure auf die einfachste Versuchsanordnung durch Experimentieren mit *Spirogyra* — das sind Algen mit zylindrischen Zellen, deren Chlorophyllkörner spiralig geformt sind — in Kulturlösungen beschränkt wird, so meint J. E. Russel[4]), läßt sich nicht mehr fest-

[1]) Th. Pfeiffer und E. Blanck, Landw. Vers.-Stationen 77, 1912, S. 217 und E. A. Mitscherlich, Bodenkunde f. Land- u. Forstwirte 1923, S. 190.

[2]) J. Stoklasa, Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien 1895, I, S. 712.

[3]) J. Schulow, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1913, 31, S. 97.

[4]) J. E. Russel, Boden und Pflanze 1914, S. 50.

stellen, als daß Phosphate zur mitotischen Zellteilung notwendig sind, und dies muß an und für sich der Fall sein, da bekanntlich der Phosphor ein Konstituent des Nukleus ist und auch bei der Umwandlung der Stärke Verwendung findet. Neben den oben angeführten organischen Phosphorverbindungen kommt die Phosphorsäure aber auch in der Form von Kalziumphosphat in den verschiedensten Gewebeteilen der Pflanze vor. Man hat daher dem Kalziumphosphat recht verschiedene Bedeutung für die Stoffwanderung in der Pflanze zugeschrieben, zumal sich phosphorhaltige Säfte auf Globuline und Nukleoalbumine lösend betätigen können und dergleichen Löslichkeitserscheinungen mit der Gegenwart von Phosphaten verbunden sind. Zwar ist von O. Loew[1]) demgegenüber geltend gemacht worden, daß sich Albumin auch in Abwesenheit von Phosphaten bilden könne und H. S. Reed[2]) hat unter gleichen Umständen die Entstehung von Stärke als möglich gezeigt, doch wandelte sie sich nicht in Zucker um, sondern zu Erythrodextrin und Zellulose, so daß der Phosphorsäure auch hier eine entscheidende Rolle eingeräumt werden muß. Auch von anderer Seite ist auf die Förderung der Ausbildung von Membransubstanzen durch die Phosphate hingewiesen worden.

Jedenfalls ersehen wir aus diesen wenigen Angaben, daß die Ansichten über den physiologischen Wert der Phosphorsäure im pflanzlichen Organismus noch nicht ganz geklärt erscheinen, wenn auch zugegeben werden muß, daß sehr vieles für eine fördernde Wirkung der Phosphorsäure in Hinsicht auf das Wanderungsvermögen an sich wenig hierfür geeigneter, aber sonst wichtiger Stoffe des Pflanzenkörpers spricht. Andererseits dürfen wir aber auch nicht die engen Beziehungen zwischen Zellteilung und Phosphorsäurezufuhr unberücksichtigt lassen, sie finden ihre Begründung schon allein in der großen Menge von P_2O_5-Verbindungen, die im Samenkorn für den Verbrauch des jungen Keimlings aufgespeichert sind. Desgleichen müssen wir auch darauf hinweisen, daß bei einer ganzen Anzahl von Eiweißstoffen, wenn auch zumeist von solchen des Tierkörpers, nach Entzug bezw. Reinigung derselben von P_2O_5 den Proteinstoffen ihre charakteristischen Eigenschaften, wie z. B. die Gerinnungsfähigkeit oder die Ausflockung, genommen werden, so daß ein derartiges Verhalten ganz sicherlich Veranlassung zum Nachdenken in besagter Richtung gibt.

Es kann wohl kaum geleugnet werden, daß nahe Beziehungen zwischen dem Gehalt der Pflanze an P_2O_5 und den Proteinsubstanzen bestehen. U. a. drückt sich dies schon in dem Verhältnis des Stickstoffgehaltes zum Phosphorsäuregehalt der Getreidekörner deutlich aus, ferner auch in dem bekannten Vermögen, die Körnererträge durch Verabfolgung bestimmter P_2O_5-Mengen regeln zu können. Die Abhängigkeit der

[1]) O. Loew, Biolog. Zentralbl. 1891, II, S. 269.
[2]) H. S. Reed, Annals of Bot. 1907, 21, S. 501.

Eiweißbildung von der Anwesenheit der Phosphorsäure gibt sich aber hieraus ohne weiteres zu erkennen, und es muß der Phosphorsäure unter allen Umständen ein Einfluß auf die Produktion der Eiweißsubstanzen eingeräumt werden. Auch die beim Aus- und Abwandern aus einzelnen Pflanzenorganen gemachte Beobachtung, nach der die Proteinstoffe gleichzeitig mit der P_2O_5 verschwinden, spricht in gleicher Richtung, wenn auch bei diesem Vorgang nicht immer das Verhältnis beider Stoffe zueinander als völlig konstant erkannt werden kann. In welcher Form die Phosphorsäure aber auswandert, das wissen wir nicht. Jedenfalls führt aber ein jeder Protoplasma enthaltender Zellsaft Phosphorsäure, und zwar zumeist in löslichem Zustande, aber die älteren Gewebe, in denen keine Eiweißsubstanzen mehr vorhanden sind, weisen nur noch wenig P_2O_5 auf. Dort also, wo Leben und Wandlung in der Pflanzenzelle herrscht, finden wir Eiweiß und Phosphorsäure miteinander gepaart, dort aber, wo das Leben erlischt, fehlen auch beide Stoffe, und es zeigt dies deutlich genug, daß die Phosphorsäure wichtige physiologische Funktionen zu übernehmen hat.

Bei der großen Bedeutung der Phosphorsäure für die Pflanzenernährung können wir uns aber nicht mit den bisherigen Angaben begnügen, sondern wollen uns noch etwas um den Sitz der Phosphorsäureverbindungen in der Pflanze bekümmern. Im allgemeinen dürfen wir wohl sagen, daß ein hoher Gehalt an P_2O_5 für die Asche der Nährgewebe der Samen außerordentlich bezeichnend ist, wenn solches allerdings auch in Hinsicht auf das Kali zutrifft. Es ist durchaus keine seltene Erscheinung, daß etwa 50 % der Reinasche der Samen aus P_2O_5 bestehen und dieser Gehalt wohl kaum unter 25 % herabsinkt. In allen Fällen, in denen aber die phosphorsäureärmeren Fruchthüllen gleichzeitig zur Analyse benutzt werden, wie dieses wohl zumeist der Fall sein wird, stellt sich der P_2O_5-Gehalt natürlicherweise erheblich geringer. Die Samennährgewebe übertreffen im Gesamtphosphorsäuregehalt alle ausgewachsenen Pflanzenorgane, jedoch die Art der hier aufgespeicherten organischen Reservestoffe, wie Fett und Stärke, erweist sich anscheinend von keiner Bedeutung für die Menge der P_2O_5. Sie ist zumeist wohl in organischer Bindung vorhanden, also wie wir schon wissen, in Gestalt der Glyzerin-P_2O_5 als wichtiger Baustein der Phosphatide und von Nuklein-P_2O_5 oder Phytin-P_2O_5. Auch kann sich anorganische Phosphorsäure abspalten. So spaltet z. B. mit Wasser angerührte Reiskleie infolge der Gegenwart des Fermentes Phytase aus Phytin solche ab, auch das phytinspaltende Enzym ist isoliert worden. Die genauer untersuchte Reiskleie enthält 8 % Phytin, d. s. 85 % der Gesamt-P_2O_5. In den Äpfeln und Birnen liegt dagegen die Hälfte der Phosphorsäure als Phytin-P_2O_5 vor.

Der Gehalt der Wurzeln bezw. der unterirdischen Reservestoffbehälter an P_2O_5 ist meist wesentlich geringer als in den Samennähr-

geweben, immerhin kann er bis zu $^1/_3$ der Reinasche anwachsen, meist bewegt er sich aber zwischen 15 und 20 %. Auch Calciumphosphat ist vielfach zur Beobachtung gelangt. Im Holz und in der Rinde ist die Phosphorsäure nicht besonders stark vertreten, nur ausnahmsweise kommen höhere Mengen vor, die manchmal auf eingelagerte Konkretionen von Kalkphosphat zurückzuführen sind. Das Splintholz zeichnet sich gegenüber dem Kernholz durch größeren Reichtum aus. Im allgemeinen ist sein P_2O_5-Gehalt aber wohl geringer als der der vegetativen Organe. Aber auch diese stehen den Samen in besagter Beziehung nach. In den Laubblättern ist die P_2O_5 in verschiedener Form an den Stellen des hauptsächlichsten Stoffwechsels vorhanden, also sowohl in organischer wie in anorganischer Bindung. Der Menge nach übersteigt sie wohl nur selten 15 % der Reinasche. Der Gesamtgehalt an P_2O_5 steigt in den Laubblättern bis zu einer Optimalmenge, die früher oder später erreicht werden kann, um dann gegen Ende der Wachstumsperiode herabzugehen. Vermutlich handelt es sich hierbei um eine Rückwanderung in die Achsenorgane. Auch das Kali zeigt die gleiche Erscheinung, was hier schon angedeutet sein möge. Daß aber auch ein Verlust an Aschebestandteilen der Herbstblätter durch Auslaugung vermittels atmosphärischer Niederschläge erfolgen kann, sei besonders hervorgehoben, um die Frage nach der Rückwanderung der Aschebestandteile zur Zeit des herbstlichen Blattabfalls ins rechte Licht zu setzen. Betrachtet man aber das Verhalten der Aschebestandteile während des Reifens der Samen, so läßt sich als besonders bezeichnend eine starke Zunahme an P_2O_5 erkennen. Namentlich bei fortgeschrittener Reifung ist mit einer reichlichen P_2O_5-Aufnahme in das Nährgewebe zu rechnen. Die Phosphorsäure teilt diese Eigenschaft mit der Magnesia, während die übrigen Aschenbestandteile nur wenig an diesem Vorgange beteiligt sind, oder wie das Kalium schon ein frühzeitiges Anwachsen aufweisen. Nach W. Zaleski[1]) erfolgt die Neubildung der organisch gebundenen P_2O_5 bei diesem Vorgang aus anorganischer. Ob solches auf dem Wege proteolytischer Synthese geschieht, läßt sich aber mit Sicherheit nicht sagen.

Aus allen über die Phosphorsäure gemachten Mitteilungen geht aber wohl mit Sicherheit hervor, daß sie für den physiologischen Vorgang der Proteinbildung eine wichtige Substanz ist, ganz abgesehen davon, daß sie als Bestandteil wichtiger Pflanzenstoffe in Frage kommt. Wir erhalten somit auf diese Weise eine Erklärung für die aus den verschiedensten Kulturversuchen abgeleitete Unentbehrlichkeit des Phosphors für die Pflanze, obschon wir nicht in der Lage sind, abschließend über das eigentliche Wesen und die Rolle der Phosphorsäure im Ernährungsprozeß der Pflanze urteilen zu können.

---

[1]) W. Zaleski, Berichte der Bot. Ges. 1907, 25, S. 58.

c) Der Aschenbestandteil Silicium

Die Kieselsäure ist gleichfalls eine Substanz von allgemeiner Verbreitung in der Pflanze, man findet sie jedoch an ganz anderen Stellen wie die beiden soeben betrachteten Stoffe Schwefel und Phosphorsäure, also nicht dort, wo das Protoplasma seine Herrschaft hat, sondern in der Zellhaut, und zwar hier in Gestalt von Kieselsäure-Einlagerungen. Besonders zeichnen sich hierdurch die älteren Zellwände, die verholzten und kutikulierten Zellen aus, so daß es hier unter Umständen zu einer Verkieselung oder Abscheidung von konkretionären SiO_2-Massen kommen kann. Mit einem Wort, wir haben dort die Kieselsäure zu suchen, wo kein regelmäßiger Stoffwechsel mehr stattfindet, und es sind somit auch die älteren Blattorgane und Stengel reicher an SiO_2 als die jüngeren. In den abgegrenzten Gewebeteilen ist das nämliche der Fall und auch in den mehr zum äußeren Schutze dienenden Pflanzenteilen, wie es die Spelzen und Grannen der Getreidearten sind, dann in den Rinden der Bäume und im Holze treffen wir das Silicium bevorzugt an.

Während der SiO_2-Gehalt nicht nur innerhalb der einzelnen Pflanzen, sondern auch einzelner ihrer Organe sehr großen Schwankungen unterworfen sein kann, zeichnen sich bestimmte Pflanzenarten in ihren Geweben durch besonderen Reichtum an SiO_2 aus. Es sei nur an die Gras- und Getreidearten erinnert, welch letztere z. B. in der Asche ihres Strohs bis zu 50 % SiO_2 führen. Ferner ist der hohe SiO_2-Gehalt des Bambusrohres und der Schachtelhalme allgemein bekannt, und wenn wir die Stufenleiter in der Entwicklung des Pflanzenreiches tiefer hinabsteigen, so treten uns die Kieselalgen und Diatomeen als ganz besonders hervorragende Kieselsäureträger entgegen. Da man aber, wie schon hervorgehoben, die Kieselsäure fast ganz allgemein, wenn auch manchmal nur in geringen Mengen, antrifft, so gelangte man tatsächlich zu der Auffassung, daß das Silicium ein unentbehrlicher Pflanzenbestandteil und Pflanzennährstoff sein müsse. Dies hat sich allerdings als ein Irrtum herausgestellt, nämlich als es gelang, Si-freie Pflanzen zu ziehen. Namentlich J. Sachs[1]) und W. Knop[2]) wirkten hier bahnbrechend, besonders als ersterer einen Mais mit nur 0,7 % SiO_2 in SiO_2-freier Wasserkultur zum Wachstum zu bringen vermochte, gegenüber einem solchen bei normaler Kultur mit 18—23 % SiO_2. Da aber gleiche Experimente mit den Getreidearten zu dem nämlichen Ergebnis führten, so konnte der Unentbehrlichkeit nicht mehr das Wort geredet werden. Doch haben einige Erfahrungen gelehrt, daß SiO_2-frei gezogene Pflanzen gegenüber normal ernährten oftmals im Nachteil sind. Dies hat seine besondere Bewandtnis, der wir einige Worte zu widmen haben.

[1]) J. Sachs, Flora 1852, S. 53.

[2]) W. Knop, Landw. Vers.-Stat. 1862, II, S. 185.

Ein Beispiel gibt hier die Tabakpflanze ab. Durch die Aufnahme der Kieselsäure in das Blattgewebe wird für das Tabakblatt eine größere Festigkeit und auch bessere Brennbarkeit bei größerer Haltbarkeit der Asche erzeugt. Dies ist ein Schluß, der um so mehr erlaubt erscheint, wenn man bedenkt, daß der Tabak nicht unbeträchtliche Mengen an SiO_2 aufnimmt und wie die übrigen höheren Pflanzen vorzugsweise in den Wandungen der Epidermis, also in der Oberhaut der Blätter und Stengel aufspeichert[1]). Die Aufnahme der Kieselsäure und Abscheidung derselben als regelmäßig zwischen den Molekülen oder Mizellen des Zellstoffes liegendes Kieselsäureskelett[2]) weist unmittelbar auf eine Verfestigung des Blattes hin und liefert somit einen festen Stützpunkt für die übrigen Aschenbestandteile nach der Verbrennung. Aus diesen Gründen düngt man denn auch bekanntlich den Tabak gerne mit Kieselsäureverbindungen[3]), wenn allerdings auch vorzugsweise hierfür noch andere Gründe in Frage kommen.

Einen weiteren Nutzen der Gegenwart von SiO_2 in der Pflanze haben wir darin zu erblicken, daß stark SiO_2-haltige Zellhäute von Schmarotzerpilzen und tierischen Parasiten weit weniger zu leiden haben als SiO_2-freie. Ähnliches gilt in Hinsicht auf den Schutz, den SiO_2-reiche Pflanzenteile gegen Angriffe seitens höherer Tiere einschließlich des Menschen genießen, insofern das Abreißen und Abpflücken derartig geschützter Pflanzen zumeist empfindliche Verwundungen für den Angreifer nach sich zieht. Man denke in dieser Beziehung nur an das kieselsäurereiche Schilf und die Verletzungen, die es hervorzubringen vermag. Vielleicht mag auch noch an den größeren Widerstand gedacht werden, den SiO_2-reiche Blätter und Pflanzenteile den Einflüssen von Wind und Wetter entgegenzusetzen vermögen, wenngleich dieses Verhalten zumeist überschätzt wird, und in Bezug auf die gleich zu besprechende Lagerung des Getreides eine wesentlich andere Erklärungsweise erfordert.

Schließlich haben gewisse Beobachtungen eine Förderung der Körnerbildung durch SiO_2 erkennen lassen, so vermutlich bei Hafer und Gerste, womit eine bessere Ausnutzung der Phosphorsäure verbunden sein soll. Diesen Beobachtungen[4]) stehen ganz neuerdings gemachte zur Seite, auf die wir gleichfalls noch einzugehen haben. Wenn wir dann mit F. Czapek[5]) noch darauf aufmerksam machen, daß sich die Kieselsäure auch noch als chemischer Wachstumsreiz betätigen kann, und das physiologische Gleichgewicht in der die Wurzeln umgebenden

[1]) Ebermayer, Physiologische Chemie der Pflanzen 1882, S. 818 u. 824.

[2]) J. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie S. 346.

[3]) E. Blanck, Naturw. Zeitschr. f. Land- u. Forstw. 1905, III, S. 265.

[4]) E. v. Wolff, Landw. Vers.-Stat. 1881, 26, S. 415 u. E. v. Wolff u. C. Krenzhage, desgl. 1884, 30, S. 161.

[5]) F. Czapek, Biochemie der Pflanzen 1920, II, S. 517.

Mineralsalzlösung durch Fehlen und Vorhandensein von SiO_2 Beeinflussung finden dürfte, so glauben wir alle Verhältnisse, die für die Nützlichkeit der Anwesenheit von SiO_2 in der Pflanze sprechen, berücksichtigt zu haben.

H. Davy[1]) hat nun aber vor vielen Jahren als erster die auch heute immer noch recht weit verbreitete Theorie aufgestellt, daß die in das Gewebe der Halme eingelagerte SiO_2 eine derartige Festigkeit der Halme hervorrufe, daß eine Lagerung solchen Getreides nicht eintrete. Wäre dieses wirklich der Fall, so erwies sich die Kieselsäure noch von weit größerem Nutzen, als wir bisher erkannt haben, und ihre Bedeutung für die praktische Landwirtschaft läge unmittelbar auf der Hand. Demgegenüber ist nun aber zunächst mit Adolf Mayer[2]) darauf hinzuweisen, daß schon bei der Aufstellung der Theorie ein großer Fehler begangen wurde, denn es wurde nämlich ganz übersehen, daß es nicht die tragenden Halme, sondern die Blätter des Getreides sind, die sich durch den Gehalt an SiO_2 besonders auszeichnen. Aber schon allein der Umstand, daß normale, außerordentlich SiO_2-arme Pflanzen die gewöhnliche Festigkeit im Halm aufweisen, läßt die genannte Theorie als recht zweifelhaft erscheinen.

Die eigentliche Ursache des Lagerns der Getreidearten haben wir denn in Wahrheit auch ganz wo anderwärts zu suchen, worauf gleichfalls schon lange von A. Mayer ausdrücklich hingewiesen worden ist. Das Lagern liegt in einer Vergeilung der Stengelglieder als Folge zu dichten Standes und zu üppiger Ernährungsbedingungen — namentlich übermäßiger Stickstoffdüngung — begründet. Es kann geradeso gut auftreten, wenn auch die Halme reich an SiO_2 ausgestattet sind. Aber auch die üppige Ernährung ist es nicht allein, die jenes Übel schafft, denn die gut genährten Halme lagern gleichfalls nicht ohne weiteres, sondern nur dann, wenn durch zu engen Stand der Halme das Licht nicht den nötigen Zutritt findet, so daß durch das Suchen nach dem Licht eine übermäßige Streckung der Halme hervorgerufen wird. Hierdurch wird aber die Widerstandsfähigkeit der Halme gegen die äußeren Einflüsse verringert, zumal bei dem schnellen Wachstum — unterstützt durch große Feuchtigkeit — keine normale Verdickung der Halmteile einzutreten vermag.

Wir haben schon kurz der Förderung der Körnerbildung durch SiO_2 und der besseren Ausnutzung der Phosphorsäure durch SiO_2-Zufuhr Erwähnung getan und müssen hieran anknüpfend auf die neuesten Untersuchungen O. Lemmermanns und H. Wießmanns[3]) hinweisen, nach

[1]) Vergl. A. Mayer, Agrikulturchemie 1901, I, S. 282.

[2]) Desgl. S. 283.

[3]) O. Lemmermann und H. Wießmann, Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Düngung Bd. 1, 1922, A, S. 185 u. Bd. 4, 1925, A, S. 265 u. 326.

denen jene Beobachtungen nicht nur eine Bestätigung, sondern eine wesentliche Erweiterung erfahren. Lemmermann vermochte nämlich darzutun, daß das Silizium, in geeigneter Form und unter bestimmten Verhältnissen verabreicht, nicht unwesentliche Mehrerträge zu liefern vermochte. Als eine solche geeignete Form erwies sich besonders die kolloidale Kieselsäure, und die stärkste Wirkung zeigte sich dann auf den Pflanzenwuchs, wenn die Phosphorsäure — aber auch Kali und Stickstoff — in unzureichender Menge vorhanden war. Die Kieselsäure vermochte gewissermaßen die Phosphorsäure zu vertreten, indem SiO_2 zu 0,1 g P_2O_5 gegeben, vielfach einen gleich hohen Ertrag als 0,3 g P_2O_5 lieferte. Bei Versuchen mit Getreide wirkte die Kieselsäure nicht nur auf die Körnererträge, sondern auch auf alle Organe der Pflanze erhöhend ein. Auch Leguminosen und Kruziferen werden positiv beeinflußt, so daß der P_2O_5-ersparende Einfluß für alle Pflanzen Gültigkeit zu besitzen scheint. Je mehr SiO_2 innerhalb der Versuchsbedingungen den Pflanzen zur Verfügung stand, um so größer zeigte sich die absolute Ertragshöhe und um so geringer war der Erntezuwachs, der durch eine verstärkte P_2O_5-Gabe hervorgerufen wurde. Wenn durch diese Versuche nun auch nicht erwiesen ist, daß die Kieselsäure die physiologischen Funktionen der Phosphorsäure übernehmen kann, so müssen wir doch mit einer bis zu einem gewissen Grade stattfindenden Ersatzmöglichkeit rechnen. Wie wir uns solche in ihrer Auswirkung zu denken haben, werden wir bei anderer Gelegenheit, wo ähnliche Verhältnisse herrschen, noch zu erfahren haben. Schon der Umstand, daß der Sitz der Phosphorsäure in der Pflanze ein ganz anderer ist als der der Kieselsäure, macht eine unmittelbare physiologische Vertretung beider Stoffe sehr unwahrscheinlich. Wir hörten ja schon, daß die SiO_2 vorwiegend überall dort auftritt, wo das Leben der Pflanze, d. h. der Stoffwechselvorgang, zu erlöschen beginnt. Das steht aber ganz im Gegensatz zur Phosphorsäure. So pflegt auch das Kernholz kieselsäurereicher Bäume viel mehr SiO_2 als das Splintholz zu besitzen, und ältere Stämme liefern eine an SiO_2 reichere Holzasche als jüngere. Die Kieselsäure ist im ureigentlichen Sinne ein Membran- und Zellwandbaustoff der Pflanze, sie nimmt daher auch während der Entwicklung und mit dem Alter der Blätter dauernd zu. An sich kann der Gehalt der Blätter in der Asche an SiO_2 sehr verschieden sein, eine Anreicherung bis zu 80 % ist oftmals zur Beobachtung gelangt. Besonders reich daran sind die Zellwände, Blattränder und auch die Haare. Daß ein korrelatives Verhalten zwischen SiO_2- und CaO-Menge in den Stützsubstanzen sehr häufig vorhanden zu sein scheint, möge noch erwähnt sein. Es geht dahin, daß ein umgekehrtes Verhältnis in den Mengen beider Stoffe besteht.

Was die Form der in der Pflanze auftretenden Kieselsäure anbelangt, so handelt es sich wohl zumeist um eine Abscheidung von SiO_2,

die zu einer Verkieselung der Gewebemasse führt. Um einen besonderen Fall von starker Kieselsäureanhäufung handelt es sich im sog. Tabaschir[1]) in den Internodienhohlräumen des Bambus. Die Kieselsäure ist hier im kolloiden Zustande des Gels zur Ausscheidung gelangt[2]). Daß die Kieselsäure aber wohl ursprünglich als silicoorganische Verbindung in der Pflanze anzunehmen ist, liegt nahe, auch hat T. Takeuchi[3]) im Heu alkoholische SiO_2 nachzuweisen vermocht. Aber von anderer Seite[4]) sind die im Gewebesaft des Schachtelhalms vorhandenen Kieselsäureverbindungen als Kieselsäurelösung erkannt worden, so daß wir mit Sicherheit in besagter Richtung wenig aussagen können.

Auch über die Aufnahme des Siliziums durch die Pflanze sind wir wenig unterrichtet. Wir wissen nur, daß sie gleich der des Schwefels und Phosphors auch in höchstoxydierter Form erfolgt und wohl in Gestalt gelöster freier Kieselsäure oder im Verbande eines wasserlöslichen Silikates geschieht. H. Mieth[5]) hat das Kalziumsilikat als geeignet erkannt, und nach A. Gregoire[6]) soll kolloide Kieselsäure hierfür in Frage kommen, die nach seiner Meinung durch die Gegenwart von Ammonsulfat in ihrer Aufnahme eine besondere Förderung erfährt. Jedoch dürfte den Humusverbindungen im Boden für den gedachten Zweck unzweifelhaft ein Einfluß zukommen. Schon Beobachtungen J. Vogels[7]) haben ergeben, daß Pflanzen, die auf einem kieselsäurereichen, aber humusarmen Boden gewachsen sind, weniger SiO_2 enthalten, als solche, die einem kieselsäurearmen, jedoch humusreichen Boden entstammen, und derselbe Autor vermochte darzutun, daß der Gehalt an organischen Bestandteilen des Bodens die vermittelnde Aufnahme der Kieselsäure bilde, ohne deren Gegenwart sie erschwert werde. Ja, nach Vogel wäre der Schluß nicht unberechtigt, daß eine an Kieselsäure reiche Pflanze nur auf einem humusreichen Boden gewachsen sein könne. Er erblickt eine lösende Einwirkung auf die Kieselsäure in der Bildung und Anwesenheit huminsaurer Ammoniakverbindungen im Boden und findet seine Ansichten durch die bekannten Forschungen Theuards[8]) über die huminsauren Ammoniakverbindungen bestätigt. Andererseits liegt es aber außerordentlich nahe, den Humusbestandteilen des Bodens in ihrer kolloiden Schutzwirkung eine wichtige Rolle bei der Wanderung der Kieselsäure im Boden einzuräumen.

---

[1]) F. Cohn, Beitr. z. Biol. d. Pfl. 1887, 4, S. 365.

[2]) O. Bütschli, Verh. d. Naturw. med. Ver. Heidelberg N. F. VI, 1900, S. 289.

[3]) T. Takeuchi, Bull. Coll. Agr. Tokyo 1907, VII, S. 429.

[4]) W. Lange, Ber. d. Dtsch. chem. Ges. 1878, XI, S. 822.

[5]) H. Mieth, Landw. Vers.-Stationen 1910, S. 81.

[6]) A. Gregoire, Ann. Stat. Agron. Gembloux 1912.

[7]) J. Vogel, Die Aufnahme der Kieselerde durch Vegetabilien 1868 und Sitz. Ber. d. K. B. Akad. d. Wiss. 1870, II, S. 300.

[8]) Theuard, Ber. d. Dtsch. chem. Ges. 1869.

Zusammenfassend müssen wir dem Silizium bezw. der Kieselsäure eine unter Umständen eintretende gewisse Nützlichkeit für die Pflanze zuerkennen, nicht aber dürfen wir dieses Element als ein unentbehrliches hinstellen, dieses ergibt sich schon allein aus dem Umstande, daß die Pflanze völlig kieselsäurefrei gezogen, dennoch zur vollen Entwicklung gelangt.

d) Das Chlor als Aschenbestandteil

Von den sogenannten Metalloiden kommt eigentlich nur noch dem Chlor eine größere Bedeutung als Aschenbestandteil zu, und wenn auch der Chlorgehalt der Pflanzenasche recht schwankend sein kann, so ist doch das Chlor im allgemeinen gar nicht in so geringen Mengen in der Pflanze vorhanden, als man meist geneigt ist anzunehmen. Es steht dem Schwefel in dieser Hinsicht sicherlich nicht nach, sondern vermag ihn sogar bisweilen zu übertreffen.

In Bezug auf die Unentbehrlichkeit dieses Elementes dürfte jedoch das letzte Wort noch nicht gesprochen sein, die Ansichten darüber gehen noch recht auseinander. Zwar haben sehr viele Kulturversuche auf ein ähnliches Verhältnis schließen lassen, wie es uns für das Silizium bekannt geworden ist, denn der Ausschluß des Chlors aus der Nahrung hat auch hier für das Gedeihen vieler Pflanzen keinen nachteiligen Einfluß aufkommen lassen, so daß man sich der Meinung hingab, die Unentbehrlichkeit des Chlors erstrecke sich doch wohl nur auf jene Pflanzen, die sich mit der Zeit an die Bedingungen eines salzartigen Standortes anzupassen gewußt hätten, wie dieses vom Strandhafer und den *Salicornia*-Arten bekannt ist. Gegen diese Auffassung spricht aber das Verhalten anderer Pflanzen, wie z. B. des Buchweizens, der keine Frucht ansetzt, falls Chlor nicht zugegen ist. F. Nobbe[1]) hat solches durch seine Versuche nicht nur wahrscheinlich gemacht, sondern auch Fingerzeige für die Ursachen der Chlorwirkung gegeben, indem er die Ansicht aussprach, daß der Stärke durch das Chlor das Wanderungsvermögen verliehen werde. Nur die chlorhaltige Zellflüssigkeit soll nach ihm imstande sein, die Stärkekörner zu lösen und wanderungsfähig zu machen. Allerdings ist vielleicht zu diesem Zwecke nur eine sehr geringe Menge Chlor notwendig. Nicht nur die Untersuchungen Nobbes und Siegerts mit Buchweizen, sondern auch solche F. Farskys[2]) mit Hafer und Gerste sprechen in gleicher Richtung. Aber auch bei Bohne und Mais ist von C. Aschoff[3]) ein nachteiliger Einfluß chloridfreier Nahrung

[1]) F. Nobbe u. Siegert, Landw. Vers.-Stationen 4 S. 318, 5 S. 136, 7 S. 371, 13 S. 321.

[2]) F. Farsky, Zeitschr. f. Landw. Versuchsw. i. Österr. 1918, 21, S. 161.

[3]) C. Aschoff, Landw. Jahrb. 1890, 19, S. 113.

festgestellt worden. Diese Befunde sind jedoch nicht unwidersprochen geblieben, so besonders durch A. Mayer[1]), der auf Grund seiner Erfahrungen das Chlor als einen für die Existenzbedingungen der Pflanzen völlig indifferenten Stoff hinstellt, und es hat auch P. Koenig[2]) die Unentbehrlichkeit des Chlors für Buchweizen geleugnet.

Adolf Mayer glaubt das Chlor zu den unter Umständen für die Pflanze nützlichen Elementen rechnen zu müssen, indem er wörtlich sagt: „Dasselbe steht jedenfalls nicht zu schlechthin notwendigen physiologischen Vorgängen in absolut unabänderlichen Beziehungen, wie wir dieses vernünftigerweise für einen jeden durchweg unentbehrlichen Stoff annehmen müssen. Allein ebenso gewiß ist das Bestehen einer Beziehung des fraglichen Aschenbestandteiles zu gewissen physiologischen Funktionen, an denen er wenigstens fakultativ mitwirkt“[3]).

Th. Pfeiffer[4]), der die Frage nach dem Chlorbedürfnis der Buchweizenpflanze in neuerer Zeit geprüft hat, gelangt demgegenüber zu dem Ergebnis, daß das Chlor zu den für die Pflanzen unentbehrlichen Nährstoffen gehört, daß aber der Buchweizen ein nur sehr geringes Bedürfnis an Chlor besitzt und größere Mengen von Cl-Verbindungen einen ungünstigen Einfluß auf das Wachstum dieser Pflanzen ausüben. Mit diesen Angaben wollen wir die noch immer als strittig anzusehende Frage als unentschieden gelten lassen. Aber einer weiteren, schon z. T. angedeuteten Eigenschaft der Chloride auf die Pflanzenproduktion müssen wir noch gedenken. Es ist ja allgemein bekannt, daß wir bei der Benutzung von chlorhaltigen Düngemitteln, und diese sind wir meist gezwungen anzuwenden, zwar eine vermehrte Produktion von Trockensubstanzmasse festzustellen in der Lage sind, aber es geschieht unter gleichzeitiger Beobachtung einer Qualitätseinbuße. Besonders bei Kartoffeln und Zuckerrüben tritt dieses Verhalten in Erscheinung, insofern diese stärkeärmer bezw. zuckerärmer ausfallen, also gemeinsam eine Verminderung an wertbestimmendem Kohlehydratgehalt erfahren. Oder, da es sich in beiden Fällen um Reservestoffe handelt, so wird durch den Chlorgehalt eine weniger starke Anfüllung bezw. Bereicherung der Reservestoffbehälter als im Falle einer chlorfreien Düngung hervorgerufen. Erinnern wir uns, daß wir darauf hinweisen mußten, im Chlor ein die Wanderung von produzierter organischer Substanz förderndes Mittel zu erblicken, so scheint damit allerdings in diesem Vermögen eine Ursache für besagtes Verhalten gefunden zu sein, wenn auch zugegeben werden muß, daß ein solcher Sachverhalt noch sehr der Bestätigung bedarf.

---

[1]) A. Mayer, Journal f. Landw. 1901, 49, S. 41.
[2]) P. Koenig, Zeitschr. f. anorgan. Chem. 1912, 24, S. 1852.
[3]) A. Mayer, Agrikulturchemie 1901, I, S. 288.
[4]) Th. Pfeiffer u. W. Simmermacher, Landw. Vers.-Stat. 1916, 88, S. 105.

Auch von besonderen Schädigungen bestimmter Pflanzen durch starken Chlorgehalt wäre noch zu sprechen, sie gelangen gleichfalls in der verminderten Qualität des erzeugten Produktes zum Ausdruck. So ist die schlechte Brennbarkeit des Tabaks, speziell der Tabakblätter, als Folge reichlichen Cl-Gehaltes erkannt worden, sie wird vermutlich durch eine Aufspeicherung der Chloride des Kalziums und Magnesiums verursacht, die durch die Verbrennungswärme zum Schmelzen gebracht, die organische Substanz umhüllen und infolgedessen deren Verbrennung erschweren oder auch ganz verhindern. Die Wirkung der Chloride auf die Eigenschaften des Bodens gehört gleichfalls in das Kapitel vom schädlichen Einfluß der Chlorsalze. Wir haben jedoch an dieser Stelle hierüber nicht zu berichten.

Hinsichtlich der Form, in der das Chlor von der Pflanze zur Aufnahme gelangt, ist nun aber im Gegensatz zur Assimilation des Schwefels, Phosphors und Siliziums zu betonen, daß es sich hier nicht um die höchste oder eine hohe Oxydationsstufe handelt, sondern daß der Vorgang unter Heranziehung der wasserlöslichen Chloride der Alkalien, des Ammons und der Erdalkalien erfolgt. Allerdings muß dabei berücksichtigt werden, daß Kalzium- und Magnesiumchlorid in höherer Menge toxische Wirkungen auf den Pflanzenwuchs ausüben, insofern sie einerseits infolge ihres stark entwickelten hygroskopischen Vermögens, andererseits als Folge der Abspaltung von HCl nach erfolgter vornehmlicher Assimilation der Base schädigend zu wirken vermögen. Diese Eigenschaften teilen aber die genannten Chloride alle mehr oder weniger, und die Abspaltung von Salzsäure kommt auch besonders bei Alkalichloriden zur Geltung, da K und NH_4 von der Pflanze besonders bevorzugt werden. Das bekannteste Beispiel des geradezu vernichtenden Einflusses höher oxydierter Chlorverbindungen auf das Pflanzenleben liegt wohl in der Wirkung des auch manchmal im Chilisalpeter nachgewiesenen Perchlorates vor. Desgleichen erweist sich das freie Chlor als im höchsten Maße gefährlich.

Hiermit sollen unsere Darlegungen über die Anteilnahme der Anionen am Aufbau der Pflanzensubstanz bezw. ihrer Asche abgebrochen werden, da sich die hier und da wohl noch einstellenden und in Frage kommenden Metalloide doch nur als von recht untergeordneter Bedeutung für unsere Kulturpflanzen erweisen. Nur anhangsweise soll später auf sie kurz zurückgekommen werden. Aber wie wir schon wissen, nimmt auch eine ganze Anzahl von Kationen bezw. Metallen an der Zusammensetzung der Asche teil. Die Asche trägt als Ganzes unbedingt einen salzartigen Charakter, und wenn auch wohl zumeist die Anionen nicht ausreichen, um die vorhandenen Kationen in der Form von Salzen zu binden, so bildet doch die von der Verbrennung der organischen Substanz herrührende Kohlensäure mit den überschüssigen Kationen kohlensaure

Salze. Allerdings dürfen wir aus diesem Verhalten nicht den Schluß ziehen, daß die Asche stets ein neutrales Salzgemisch darstellt, denn das ist durchaus nicht immer der Fall.

e) Die Aschenbestandteile Kalium und Natrium

Das Kalium, dem wir von allen Metallen unsere Aufmerksamkeit zunächst schenken wollen, treffen wir, wie uns die Aschenanalyse lehrt, in jeder Pflanze und in jedem Pflanzenorgan, an. Es erfreut sich dieses Element also einer allgemeinen Anwesenheit im Pflanzenkörper und solange schon die sog. Differenzmethode bei der Wasserkultur Anwendung gefunden hat, solange haben die Beobachtungen aller Experimentatoren — es seien nur Lucanus, Nobbe, Wolff genannt — gezeigt, daß eine Pflanze ohne Kali sehr schnell zugrunde geht. Daraus dürfen wir mit Sicherheit schließen, daß wir es im Kalium mit einem unentbehrlichen Aschenbestandteil zu tun haben, und in der Tat steht kein Satz in der modernen Landwirtschaft, die sich alltäglich neu von dieser Tatsache überzeugt, so fest als dieser.

Sehen wir uns aber nach den Funktionen, welche das Kalium bei der Ernährung und bei dem Stoffwechsel der Pflanze zu erfüllen hat, um, so müssen wir freimütig bekennen, daß wir trotz alledem nur wenig in dieser Richtung auszusagen wissen. Das klingt dem Neuling vielleicht recht sonderbar, namentlich in Hinsicht auf den sichergestellten Satz von der Unentbehrlichkeit des in Rede stehenden Stoffs, erinnern wir uns aber der schon früher geltend gemachten Gründe hierfür, so findet die Sachlage durch diese ihre natürliche Erklärung. Zudem kommt noch ein weiterer Umstand hinzu, der, wie wir bald erfahren werden, die Frage nach der Unentbehrlichkeit des Kaliums besonders erschwert, nämlich der bis zu einem gewissen Grade mögliche Ersatz des Kaliums durch das nahe verwandte Natrium. Jedenfalls ist es aber für die aufgeworfene Frage nach der Funktion des Kaliums in der Pflanze eine Tatsache von unverkennbarer Wichtigkeit, daß wir dieses Element vorzugsweise in denjenigen Teilen der Gewebe vorfinden, in denen die Kohlehydrate beweglich sind, wo sie wandern, nicht aber dort, wo die Fortleitung der eiweißreichen Körper stattfindet oder doch als sich vollziehend angenommen wird. Hier ist vielmehr der Sitz der Phosphorsäure, wie wir dies schon erfahren haben. Wir sind dementsprechend berechtigt, einerseits von engeren Beziehungen des Kaliums zu den Kohlehydraten, andererseits von solchen des Phosphors zu den Proteinen zu sprechen. Auch hat es sich als wahrscheinlich gezeigt, daß die Alkalien, unter ihnen besonders das Kalium, die Plasmahautkolloide aufzulockern vermögen, was ein leichteres Durchdringen der Ionen bedingt und gleichfalls als für die unterstützende Wirkung des Kaliums bei der Wanderung der Stärke in Anspruch genommen werden kann.

Es möge nochmals betonend hervorgehoben sein, daß Friederich Nobbe[1]) keine nennenswerte Bildung organischer Substanz beobachten konnte, wenn das Kalium der Pflanze vorenthalten bleibt, ein Resultat, das durch zahlreiche Versuche bestätigt worden ist. Da es sich bei der Erzeugung organischer Pflanzenmasse aber in erster Linie immer um Stärke oder Kohlehydrate handeln wird, so scheint die Photosynthese bei Ausschluß von Kalium schon nicht zustande kommen zu können. Unter allen Umständen erweist sich diese Erscheinung des unterbundenen Stärkebildungsvermögens als ganz besonders wichtig, wenn damit auch die hierfür in Frage kommenden Ursachen längst noch nicht als geklärt anzusehen sind, denn sowohl gestörte Photosynthese als auch gestörte Translokation können für das Verhalten verantwortlich gemacht werden. Immerhin steht als Hauptsache fest, daß der ganze Prozeß der Stärkebildung sofort aufhört, wenn das Kalium fehlt. Hellriegel und Wilfart[2]) haben dargetan, und ihre Befunde haben wiederholte Bestätigung gefunden, daß die vorhandene Menge der Kohlehydrate in den Aufspeicherungsorganen der Kartoffeln, Zuckerrüben wie auch des Getreides in völliger Abhängigkeit von dem für die Pflanze verfügbaren Kali steht, und als ein Beispiel dieses Verhältnisses mag hier der Ausfall eines Runkelrübenversuches in Rothamsted angeführt sein. Bei mangelnder Kalizufuhr wurde eine Rübenernte von $66^1/_2$ dz und 33 dz Blattmasse erzielt, während reichliche Kaliversorgung bei nur wenig höherer Blätterernte, nämlich von $38^1/_2$ dz, eine dreimal so hohe Rübenernte von 182 dz hervorrief. Daß die geschädigte Stärkebildung durch Kalimangel nicht auf einen krankhaften Zustand der Chloroplasten zurückzuführen ist, hat schließlich Reed, um dieses noch zu erwähnen, wahrscheinlich gemacht, indem er zu zeigen vermochte, daß besagte Zellbestandteile bei einem K_2O-Ausschluß von zweimonatiger Dauer noch normal verblieben und sich sogar bei K_2O-hungernden Algen noch vermehren konnten.

Ein weiterer Einfluß des Kalis ist auf die Ausbildung der Körner gerichtet, insofern als sich das Gewicht derselben bei Kalimangel stark herabgedrückt zeigt, bezw. die Körner verkümmert erscheinen[3]). Schließlich leiden die Pflanzen, sofern Kalimangel herrscht, besonders leicht und empfindlich unter Krankheit und Befall jeglicher Art.

Was die Mengen des in den einzelnen Pflanzenteilen vorhandenen Kalis anbelangen, so enthält der Samen wohl meist 20—50 % seiner Asche daran, in den Blättern ist der Gehalt im allgemeinen wohl noch etwas höher. Auch im Holz und in der Rinde ist das Kali reichlich vorhanden, aber nicht immer mit dem Alter abnehmend. Das Splint-

[1]) F. Nobbe, Landw. Vers.-Stat. Bd. B, S. 398.
[2]) Hellriegel u. Wilfart vgl. A. Mayer, Agrikulturchemie Bd. 1, S. 295.
[3]) H. Wießmann, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung A, Bd. 2, S. 1.

holz führt in der Regel mehr als das Kernholz. Stets findet sich das Kalium in den Pflanzensäften, und zwar mit organischen Säuren, wie Oxalsäure, Äpfelsäure, Weinsäure und Zitronensäure als saures Salz verbunden. Ob dabei das Kalium lediglich als neutralisierendes Agens aufzufassen ist, wie man dieses vielfach angenommen hat, erscheint zweifelhaft. Auch in anorganischer Bindung kommt das Kali vor, und zwar wohl hauptsächlich dann, wenn der Pflanze Kalisalze im Überschuß verabreicht werden.

Wir kommen damit auch hier zu der Feststellung, daß sich alle im lebhaften Wachstum begriffenen Pflanzenteile viel reicher mit Kali ausgestattet erweisen, als die abgestorbenen, so daß die jüngeren Blätter, die jungen Triebe, die grünen Stengel, wie überhaupt die jüngeren Pflanzen viel kalireicher als die älteren sind. Ganz besonders zeichnen sich aber, wie schon hervorgehoben, Rüben und Kartoffeln als kohlehydratreiche Pflanzen durch ihren Gehalt an Kali aus. Es tritt dieses deutlich in Erscheinung, wenn man erfährt, daß durchschnittlich durch eine mittlere Zuckerernte je ha $3^1/_2$ Ztr. K_2O gewonnen werden und dieser Wert unter gleichen Voraussetzungen für Kartoffeln $2^1/_2$ Ztr. beträgt, während er z. B. für Wiesenheu auf $1^1/_2$, für Erbsen auf 1 Ztr. und Weizen sogar auf $^3/_4$ Ztr. herabsinkt.

Erwähnen wir nun noch, daß das Kali die Fähigkeit besitzt, im günstigen Sinne auf die Brennbarkeit des Tabaks einzuwirken und dementsprechend dem schädigenden Einfluß des Chlors in genannter Richtung entgegengearbeitet werden kann, und daß ähnliches in Bezug auf den Zucker- und Stärkegehalt von Rüben und Kartoffeln gilt, so dürften wir wohl das wichtigste, was in Hinsicht auf den Aschenbestandteil Kalium als Nährstoff der Pflanze zu sagen ist, kurz zusammengefaßt haben.

Die engen Beziehungen zwischen Kaliaufnahme und der Bildung von Kohlehydraten, also Stärke und Zucker, die überall im Pflanzenreich bestehen, weisen jedoch mit Bestimmtheit darauf hin, daß eine normale Erzeugung von Kohlehydraten nur bei genügender Gegenwart von Kaliverbindungen erfolgen kann. Da aber die Bildung der Kohlehydrate wohl als die wichtigste Aufgabe der Pflanze angesehen werden darf, so steht die Bedeutung des Kaliums für die Pflanzenernährung an erster Stelle.

Der Eintritt bezw. die Aufnahme des Kaliums in die Pflanze erfolgt in Form seiner wasserlöslichen Salze, als solche kommen das Nitrat, Sulfat, Phosphat, Chlorid und auch Silikat in Betracht.

Was wissen wir nun aber von dem Natrium in gleicher Beziehung auszusagen? Angesichts der Tatsache, daß das Natron überall im Boden vorhanden ist, erklärt sich seine allgemeine Anwesenheit in den Pflanzenaschen zwar sehr einfach, jedoch, wie wir wissen, besagt dieses in Hinsicht auf die Entbehrlich- oder Unentbehrlichkeit eines Mineralstoffs

für die Pflanze wenig oder nichts. Desgleichen erlaubt uns auch die bekannte Tatsache, daß das Kochsalz schon frühzeitig zu Düngezwecken herangezogen worden ist, keine einwandfreie Beantwortung der Frage nach der Bedeutung des Natriums für die Pflanze, weil zur damaligen Zeit noch alle Einsicht und Kenntnis zur Beurteilung derartiger Verhältnisse völlig fehlten. Unsere Erörterungen über das Natrium wollen wir daher mit einem Zitat von B. Schulze[1]) aus dem Jahre 1913 einleiten, um zugleich den damaligen Standpunkt unserer Kenntnis vom physiologischen Wert des Natriums zu kennzeichnen. „Die Anschauungen über die Bedeutung der Natronsalze für die Pflanze scheinen bis vor noch nicht langer Zeit dahin geklärt, daß das Natron nicht den der höher entwickelten Pflanze notwendigen Nährstoffen zuzurechnen sei. Diese Ansicht wurde gestützt einmal durch das im allgemeinen spärliche Vorkommen von Natrium in den Aschen höherer Pflanzen, hauptsächlich aber durch die Tatsache, daß es möglich ist, in natriumfreien Lösungen normal entwickelte Pflanzen zu erziehen." Wir entnehmen schon aus diesen Worten, daß es mit dem Natrium wohl eine besondere Bewandtnis haben muß, denn sonst würde der genannte Autor, obgleich er die Entbehrlichkeit zugibt, doch keinen Zweifel an der Richtigkeit dieser Erkenntnis aufkommen lassen, wie dies aber aus dem Sinn seiner Worte hervorgeht. Der Grund dafür liegt eben in der schon angedeuteten Frage nach der Vertretungsmöglichkeit des Kaliums durch Natrium, der wir nunmehr etwas näher treten möchten.

W. Knop[2]), der sich vermittels seiner bekannten Wasserkulturversuche der Frage nach der Unentbehrlichkeit des Natriums zuwandte, gelangte als erster zu dem Ergebnis, daß das Natrium „als ein nicht notwendiges Material zur Erzeugung der organischen Masse der Landpflanze" angesehen werden müsse, und P. Dehérain[3]) vermochte dieses zu bestätigen, indem er Bohnen und Kartoffeln in künstlicher Kultur völlig natriumfrei ohne Beeinträchtigung ihres Gedeihens zur Entwicklung brachte. Ähnliches fand auch W. Schuhmacher[4]) doch erachtet er die Abwesenheit oder geringe Gegenwart von Natrium im Samen nicht für beweisend, „ob zur Samenbildung Natron nötig sei", denn, „es könnte das Natronsalz ja auch, nachdem es seine Funktion in den sich ausbildenden Samen vollende, wieder in den Stengel zurückkehren". Dagegen ist von Fürst Salm-Horstmar[5]) die Unentbehrlichkeit des Natriums für die Fruchtbildung des Weizens behauptet worden, aller-

[1]) B. Schulze, Landw. Vers.-Stat. 1913, 70/80, S. 431.

[2]) W. Knop, Landw. Vers.-Stat. 1861, III, S. 301.

[3]) P. Dehérain, Ann. sc. nat. 1878, t. VI, S. 340.

[4]) W. Schuhmacher, Die Ernährung der Pflanze. Berlin 1864, S. 354.

[5]) Fürst Salm-Horstmar, Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanzen, 1856, S. 29.

dings steht dieser Fall zugunsten unseres Elementes einzig in der Literatur da, und es hat sich trotzdem die Ansicht des Genannten während einer gewissen Zeit weite Anerkennung zu verschaffen vermocht. Es ist dies zwar an und für sich um so unverständlicher, als außer den schon angeführten Autoren auch F. Nobbe und Th. Siegert[1]) die Überflüssigkeit des Natriums bei der Züchtung des Buchweizens dargetan hatten, und Stohmann[2]) völlig normale Maispflanzen unter Ausschluß von Natrium zu ziehen vermocht hatte. Desgleichen waren H. Birner und B. Lucanus[3]) bezüglich des Hafers zu dem Ergebnis gelangt, „daß die Rolle des Kalis im Lebensprozesse der Haferpflanze von diesem chemisch nahestehenden Verbindungen, zum Exempel von Caesium, Rubidium, Natrium u. a. nicht übernommen werden kann".

Demnach mußte es scheinen, als ob sich die Na-Ionen dem Stoffwechselgetriebe gegenüber indifferent verhalten, um so mehr, als auch Versuche mit vermehrter Natriumzufuhr keinen Einfluß dargetan haben, wenigstens solange nicht, als die Lösungen keine zu starken osmotischen Wirkungen ausüben. Jedoch, wie in so manchen anderen Fragen der Agrikulturchemie, hat auch in dieser die Ansicht Liebigs von der Unentbehrlichkeit des Natrons für die Pflanze lange allen gegenteiligen Beweisen zum Trotz stand gehalten. Liebig vertrat seinen Standpunkt auf Grund der Auffassung, daß alkalische Basen, die in den Pflanzen vorgefunden werden, zum Bestehen derselben auch unentbehrlich sein müßten, „denn wären sie es nicht", so „wären sie nicht da"[4]). Liebigs Ansicht, die sich als Folge seiner Lehre von der Fähigkeit des Pflanzenorganismus ergab, alles dem Boden wieder zurückzugeben, was nicht zu seinem Bestehen gehört, und eng mit der von ihm vertretenen Lehre von der möglichen Vertretbarkeit der in der Pflanze an Säuren gebundenen Basen verknüpft ist, hat nicht nur seine Zeitgenossen stark beeinflußt, sondern sie tritt uns auch heute noch in neubelebter Form entgegen. Denn die Frage von der Entbehrlich- oder Unentbehrlichkeit des Natriums als Pflanzennährstoff läuft in letzter Linie doch immer wieder auf die nach der Vertretbarkeit beider Elemente hinaus. Über das letztere Verhalten äußert sich Liebig folgendermaßen: „Es wird kaum nötig sein, daran zu erinnern, daß sich die alkalischen Basen in ihrer Wirkungsweise vertreten können. Dieser Schluß bezieht sich, wie sich von selbst versteht, nur auf diejenigen alkalischen Basen, welche als pflanzensaure Salze Bestandteile der Pflanzen sind. Wenn der Schluß wahr ist, so muß die fehlende Basis ersetzt und vertreten sein

[1]) Fr. Nobbe u. Th. Siegert, Landw. Vers.-Stat. 1862, IV, S. 339.

[2]) Stohmann, Journal f. Landw. 1862, S. 41.

[3]) H. Birner u. B. Lucanus, Landw. Vers.-Stat. 1866, VIII, S. 160.

[4]) J. v. Liebig, Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Braunschweig 1862. I, 7. Auflage, S. 104.

durch eine andere von gleichem Wirkungswerte, sie muß ersetzt sich vorfinden durch ein Äquivalent von einer der anderen Basen“[1]). Wir können auf Liebigs Ansichten nicht näher eingehen, erkennen aber, daß er der Vertretung einzelner Nährstoffe unter sich eine große allgemeine Bedeutung einräumt. Von E. Heiden[2]) und schon früher von W. Schuhmacher[3]) sind diese Ansichten bekämpft worden, aber einen eingehenden experimentellen Beitrag lieferte erst Emil Wolff[4]), auf Grund dessen er eine Vertretung des Kalis durch Natron ablehnt. Wolffs Auffassung hat in späteren Jahren bis zur jüngsten Gegenwart mehr und mehr an Boden gewonnen, aber neuerdings machen sich wiederum namhafte Stimmen für eine Vertretbarkeit laut, so daß die Beantwortung des Problems immer noch keinen befriedigenden Abschluß gefunden hat. Wenn wir auf dasselbe etwas ausführlicher eingegangen sind und auch noch weitere Erörterungen daran anzuknüpfen haben, so geschieht es aus dem Grunde, weil die Vertretbarkeit nicht nur des Kalis durch Natron, sondern überhaupt die Ersatzmöglichkeit der Nährstoffe untereinander von ganz prinzipieller Bedeutung für die Pflanzenernährungslehre ist, wie dieses in dem später zu behandelnden Gesetz vom Minimum bezw. in dem der Wachstumsfaktoren zum Ausdruck kommt.

In der bekannten „Pflanzenphysiologie“ von W. Pfeffer[5]) lesen wir, daß alle Versuche, auch diejenigen, die mit Pilzen ausgeführt worden sind, übereinstimmend die Nichtersetzbarkeit des Kaliums durch Natrium oder Lithium ergeben haben. Dann heißt es aber weiter: „Es ist aber im hohen Grade beachtenswert, daß das allgemein verbreitete und reichlich in die Pflanze gegangene Natrium im Stoffwechsel nicht eine Verwendung fand, durch die es zu einem unentbehrlichen Nährstoff wurde. Da aber in den höheren Tieren Na neben K notwendig zu sein scheint, so muß die Möglichkeit in das Auge gefaßt werden, daß gleiches bei irgend einer Pflanze zutrifft, obgleich sich Na für alle bisher geprüften Pflanzen als entbehrlich erwies.“ Nach Pfeffer ist von einem jeden notwendigen Element für eine volle Entwicklung der Pflanze eine gewisse minimale Menge unerläßlich. Dort aber, wo sich die Gelegenheit dafür bietet, wird auch weit mehr aufgenommen, wie dies die bekannte Erscheinung der Luxuskonsumption zeigt, so daß der fragliche Stoff über den notwendigen Bedarf hinaus in Funktionen Verwendung finden kann, die auch ohne seine Gegenwart fortbestehen kann. Hiermit gelangt der Genannte aber zu einer für die Beurteilung des vor-

[1]) Vergl. E. Heidens Düngerlehre I, S. 475.
[2]) E. Heiden, a. a. O., S. 476.
[3]) W. Schuhmacher, a. a. O., S. 360.
[4]) E. Wolff, Landw. Vers.-Stat. 1868, S. 349 u. 370.
[5]) W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie 1897, I, 2. Auflage, S. 404—408.

liegenden Gegenstandes wichtigen Auffassung von prinzipieller Bedeutung und Tragweite, denn er sagt wörtlich: „In der Tat ist es wohl zu verstehen, daß es z. B., soweit es nur auf die Bindung von produzierter organischer Säure ankommt, ganz oder teilweise gleichgültig ist, ob K oder Na oder vielleicht ob Ca oder Mg zur Neutralisation dienen, gleichwohl ob es sich um die einfache Unschädlichmachung der Säure, um die Gewinnung von osmotisch wirkenden Salzen oder um andere Ziele und Zwecke handelt. Im Bereiche dieser und gewisser anderer Partialfunktionen wird ohne Frage öfter das für eine bestimmte Funktion unentbehrliche Element durch einen anderen Stoff, gelegentlich vielleicht sogar durch eine Kohlenstoffverbindung vertreten. In solchem Sinne werden also auch entbehrliche Stoffe für die Pflanze nutzbar gemacht.“ Ja, weil bestimmte Organismen absonderliche und nicht immer offenkundige Anforderungen stellen, so kann nach ihm „sehr wohl einmal das Gedeihen von der Zufügung eines bestimmten Körpers abhängen, obgleich dieser kein notwendiger Nährstoff und unter anderen Versuchsbedingungen vielleicht entbehrlich ist“. Wir wollen diesen Ausführungen Pfeffers nicht weiter folgen, sondern nur noch andeuten, daß es sich bei ihm in der Frage nach der Vertretbarkeit doch eigentlich nur um die Verneinung einer auf physikalisch-chemischer (stöchiometrischer) Gesetzmäßigkeit erfolgenden Ersetzbarkeit eines Elementes durch ein anderes handelt, während er eine sozusagen allgemeine und willkürlich verlaufende Vertretung infolge besonderer, unkontrollierbarer Verhältnisse nicht nur für möglich, sondern als bestehend annimmt. Ähnliches findet sich bei Wolff und anderen Autoren, und zwar wohl infolge des Einflusses der uns schon bekannt gewordenen Liebigschen Lehre. Sehr bezeichnend ist auch der von F. Czapek[1]) in der aufgeworfenen Frage vertretene Standpunkt. Er läßt sich wohl am besten durch seine eigenen Worte wiedergeben: „Alle Ergebnisse machen es nicht wahrscheinlich, daß Natron das Kali bei seinen Funktionen im lebenden Protoplasma voll ersetzen kann, doch wird vielleicht oft ansehnlicher Aufwand an Kali durch Natronsalze erspart, indem die letzteren Nebenfunktionen und Schutzfunktionen versehen“. Bezüglich der Salicorniaarten weist er darauf hin, daß es vorteilhaft sei, sie in Kochsalzkultur mit etwas Magnesiumsalz zu versehen. Hier entfalte das Natrium sicher eine Bildungsreizwirkung, welche durch isosmotische Lösungen anderer Salze nicht erzeugt werde. Sonst sei aber bisher kein sicherer Fall von spezifischer Natriumwirkung bei Pflanzen bekannt geworden[2]).

Nach Adolf Mayer[3]) darf das Natrium aber „nicht einmal als ein nützlicher Bestandteil angesehen werden“, und trotzdem er

[1]) F. Czapek, Biochemie der Pflanzen 1920, II, S. 485.
[2]) Desgl. S. 489.
[3]) A. Mayer, Lehrb. d. Agrikulturchemie 1901, I, S. 298 u. 299.

diese allgemeine Schlußfolgezung zieht, sieht er sich doch veranlaßt, einschränkend hinzuzufügen, daß es sehr leicht möglich sei und der hohe Natrongehalt einzelner Pflanzen sogar darauf hinzudeuten scheine, als wenn manche Pflanzen des Natriums bedürftig wären oder doch wenigstens Nutzen aus dem Gehalt an diesem Stoffe zögen. Nach ihm gehen die Natronsalze in üblicher Weise in die Pflanze über, und sie verbreiten sich dortselbst, ohne daß sie vermutlich eine Verarbeitung in die organische Substanz erleiden. Jedoch könnten sie durch Wechselzersetzung organische Säuren eintauschen, „so daß das Bestehen organisch saurer Natronsalze in der Pflanze, auch ohne physiologische Bedeutung des zu Grunde liegenden Metalls, durchaus nicht ausgeschlossen bleibt". Wir müssen bekennen, daß uns diese Deutungsweise wenig befriedigen kann.

Außer osmotischen Wirkungen scheint dem Natrium keine weitere Bedeutung bei der Nährstoffaufnahme zuzukommen, selbst Strukturveränderungen scheint eine reichliche NaCl-Zufuhr bei Nicht-Hallophyten nur in unbedeutendem Grade in den Geweben hervorzurufen. Daß aber das Na-Ion Wirkungen auf das Protoplasma auszuüben vermag, geht aus Untersuchungen E. Overtons hervor, worauf gleichfalls Czapek[1]) besonders hingewiesen hat.

Das sind nun wohl im allgemeinen die Ansichten, die noch bis vor ganz kurzer Zeit über die Bedeutung des Natriums und seiner Anteilnahme an der Vertretung des Kalis herrschten. Wir dürfen vielleicht nur noch auf die stärkeverteilende Wirkung des Natriums, die z. T. aber auch dem Chlor zur Last gelegt wird, hinweisen, um alles damit als erschöpft zu betrachten. Aber, wie schon gesagt, es machten sich noch andere Stimmen geltend, und zwar kam die ganze Angelegenheit erst besonders ins rechte Fahrwasser, als man die sogen. Kochsalzdüngung[2]) näher zu studieren begann. Diese Art der Düngung ist schon recht alt, Römer und Perser kannten sie, im alten China wurde sie angewandt und verschiedene Stellen der Bibel legen Zeugnis von der Kenntnis der Wirkung des Kochsalzes auf den Pflanzenwuchs ab. Wir wollen uns hier lediglich vom physiologischen Gesichtspunkt mit ihr beschäftigen, obgleich noch andere wesentliche Verhältnisse mit im Spiele sind, die wir nicht umgehen können, anzudeuten.

Th. Pfeiffer[3]) hat sich der Frage der Ersatzmöglichkeit des K durch Na sehr warm angenommen, und hat zunächst die Alkaliaufnahme der Pflanze unter Berücksichtigung der den Basenaustausch im Boden regeln sollenden „Zeolithe" eingehend studiert, indem er Aufschluß über eine direkt oder indirekt stattfindende Wirkung des Natriums zu erhalten wünschte, so daß uns hier die soeben angedeutete Möglichkeit

[1]) F. Czapek, a. a. O., S. 489.
[2]) E. Blanck, Fühlings Landw. Ztg. 1916, 65, S. 441.
[3]) Th. Pfeiffer, Mittlg. d. Landw. Inst. Breslau III, S. 567.

der Behandlung des vorliegenden Problems von verschiedenen Seiten aus unmittelbar entgegentritt. Pfeiffers Untersuchungen ergaben nun, daß sich einmal eine indirekte Wirkung im Boden abspielt. Sie ist im wesentlichen rein chemischer Art, denn es werden auf dem Wege des Basenaustausches der Pflanze gewisse Mengen von Kali zugeführt. Sind diese „so groß, daß sich aus ihnen die dabei erzielten höheren Körnererträge ungezwungen erklären lassen, so kann man", nach Pfeiffer, „dem Natron selbstverständlich keine weitere günstige Beeinflussung der Körnererzeugung zuschreiben". Jedoch wird die Sachlage eine andere, wenn „die Pflanzen mit einem gewissen Kalimangel zu kämpfen haben, unter dessen Herrschaft die Natrondüngung zu einer im Verhältnis zur mehraufgenommenen Kalimenge ungewöhnlich hohen Körnererzeugung Veranlassung geben kann". In diesem Fall macht sich eine andere „Wirkung des Natrons geltend, die sich auf physiologischem Gebiete bewegt, indem ein teilweiser Ersatz des Kalis in den Stengeln und Blättern durch Natron stattfindet und die gekennzeichnete bessere Ausnutzung des Kalis speziell zur Körnererzeugung bewirkt". Dabei nimmt Pfeiffer an, daß das Natron gleichsam das Kali aus den assimilierenden Organen in die Körner schiebt, wodurch aus einer gegebenen Kalimenge ein möglichst großer Nutzen zur Erzeugung der die Erhaltung der Art bedingenden Organe gezogen werde. Doch scheint ihm hiermit die Rolle des Natrons bei der Körnerbildung noch nicht erschöpft zu sein. Denn die verhältnismäßig hohen, durch die Beigabe von NaCl erzielten Körnererträge könnten zwar durch eine sparsame Kaliverwertung, durch teilweisen Ersatz dieses Bestandteiles in den Körnern vermittels Na_2O ermöglicht werden, obschon die verhältnismäßig geringe Inanspruchnahme des Natrons bei der Körnererzeugung dagegen zu sprechen scheine. Jedenfalls räumt Pfeiffer vielen Pflanzen eine nutzbringende Verwertung des Natrons neben Kali ein, aber hinsichtlich eines auch nur teilweisen Ersatzes spricht er nur als von der Möglichkeit desselben.

Wie aus dem schon früher mitgeteilten Satz B. Schulzes ersichtlich ist, hielt auch dieser Forscher das Natron für die Pflanze nicht so ganz bedeutungslos, doch glaubte er im chemischen Basenaustausch mit den „Kaliumzeolithen" die Düngewirkung des Kochsalzes nicht erklären zu können, und es ergab sich daraus für ihn der Beweis, daß das Na als ein für gewisse Pflanzen direkt fördernder Nährstoff anzusehen sei, so daß er damit das Natron gleich dem Kalium als Baustoff für die Pflanze ansah. Wenn aber W. Krüger[1]) zur Auffassung von keiner Ersatzmöglichkeit beider Elemente gelangt, so dürfen wir andererseits nicht verschweigen, daß er einer Erleichterung der K_2O-Aufnahme

[1]) W. Krüger, Verhandl. d. Generalversammlung d. Vors. d. D. Zucker-Industrie 1904 zu Dresden, S. 206—215.

bei Gegenwart von Na_2O zustimmt, denn seinen Untersuchungen nach dringt durch eine Natrongabe veranlaßt, mehr K_2O in die Zuckerrübe, und können dementsprechend Pflanzenmasse und Zuckerproduktion eine Erhöhung erfahren. Allerdings muß daran erinnert werden, daß die Kochsalzdüngung für Rüben insofern eine besondere Bedeutung besitzt, als sie natronliebende Pflanzen sind und infolgedessen die sonst meist mit einer Kochsalzdüngung in Verbindung stehende physikalische Bodenverschlechterung nicht in Erscheinung treten lassen.

In seinen letzten Untersuchungen über vorliegenden Gegenstand hat Th. Pfeiffer[1]) mit Recht darauf hingewiesen, daß es zur Erlangung einer wirklich befriedigenden Antwort auf die so verwickelte Frage vor allen Dingen notwendig sei, sich bewußt zu bleiben, daß ein Ersatz des Kaliums durch Natrium bei dessen physiologischen Aufgaben nur dem Molekulargewichte, nicht aber dem absoluten Gewichte nach stattfinden könne. Dies habe man aber bei allen früheren Untersuchungen übersehen. Die unter Berücksichtigung dieses fundamentalen Grundsatzes von ihm ausgeführten Untersuchungen ergaben denn auch zunächst für Natron eine andere Wirkung als für Kali, und zwar ist sie für ersteres erheblich geringer. Ferner vermochte er zu zeigen, daß das Natron bei der Trockensubstanzerzeugung der Haferpflanze das Kali in einem molekularen Verhältnis von etwa 0,25 : 1 zu ersetzen imstande sei, was selbst dann noch gelte, wenn neben verhältnismäßig geringen Kalimengen recht bedeutende an Natron angewandt werden. Auf absolute Gewichte umgerechnet stellt sich das Verhältnis auf 0,38 : 1. Gegenüber seinen früheren Ermittelungen ist es ihm somit gelungen, eine bestimmte quantitative Beziehung zwischen der Wirkung beider Alkalien aufzudecken, was aber nach dem von ihm schon früher eingenommenen Standpunkt als sehr verständlich erscheint. Das Natron kann also offenbar nur neben einer gewissen Menge von K_2O zur Geltung kommen, und es zeigte sich der Minderwert des ersteren in Hinsicht auf die Körnerbildung geringer als in Bezug auf die gesamte Trockensubstanzmasse. Solches hängt jedoch keineswegs mit einer besonderen Bedeutung des Natrons für die Körnerausbildung zusammen, sondern es läßt sich vielmehr beobachten, daß der prozentische K_2O-Gehalt unter dem Einfluß der Natronzufuhr eher eine geringe Steigerung erfährt. Daher kann es sich denn auch nur um eine im physiologischen Sinne indirekte Wirkung des Natrons handeln, und Pfeiffer gelangt damit zur nochmaligen Bestätigung sowie aber auch Erweiterung seiner vormals ausgesprochenen Ansicht, daß in den Stengeln und Blättern ein Teil des Kalis durch Natron ersetzt werden kann und dieser alsdann für die Erzeugung der Körner zu dienen vermag. Wir sehen hier also dem Vorgange eine

[1]) Th. Pfeiffer u. A. Rippel, Journal f. Landw. 1920, S. 255.

Deutung gegeben, wie sie wohl in gleicher Weise für die Wirkung der Kieselsäure neben Phosphorsäure in Anspruch genommen werden muß.

Eine Ersatzmöglichkeit des Kaliums durch Natrium muß nach diesen Befunden wohl als vorhanden zugegeben werden, aber die Unentbehrlichkeit des Natriums für die Pflanze kann damit noch nicht als erwiesen gelten, höchstens eine Nützlichkeit, indem es unter Umständen physiologische Funktionen des Kaliums fördern kann. Nach diesen etwas ausführlichen Mitteilungen über das Natrium, die wir aber aus prinzipiellen Gründen genötigt waren zu geben, wollen wir den Erdalkalien unsere Aufmerksamkeit schenken.

f) Kalzium und Magnesium als Aschenbestandteile

Auch das Kalzium stellt sich in allen Pflanzenaschen recht regelmäßig ein, namentlich in den höheren Pflanzen fehlt es nie. Zieht man aber in Rücksicht, daß Kalziumverbindungen im Gestein wie überall im Boden, sogar zuweilen recht reichlich, zugegen sind, so kann aus der Anwesenheit des Kalziums in den Aschen allein noch kein sicherer Schluß auf die Unentbehrlichkeit dieses Elementes gezogen werden. Jedoch bei näherer Betrachtung der Aschen deutet schon die eigenartige Verteilung unseres Elementes in der Pflanze auf funktionelle Anteilnahme desselben hin. So sind es besonders die blattartigen Organe, wie überhaupt die mit solchen ausgestatteten Pflanzen, die sich daran reich erweisen, wogegen die unterirdischen Reservestoffbehälter, wie Wurzeln und Knollen, dann aber auch die Körner des Getreides nur untergeordnet mit Kalzium ausgestattet sind. Die Unentbehrlichkeit unseres Elementes ist denn auch schon verhältnismäßig frühzeitig erkannt worden. Dies ergaben nicht nur Kulturversuche, sondern auch schon die Beobachtung zeigte, daß junge Pflänzchen, denen kein aufnehmbares Kalzium in der Nähe ihres Standortes zur Verfügung steht, alsbald eingehen. Es stellt sich diese Erscheinung verhältnismäßig schnell ein, da, wie wir soeben erfahren haben, die Samen mit nur wenigen Ausnahmen geringe Mengen an Ca führen. Wir dürfen uns den Kalkgehalt der Samen aber nicht als absolut gering vorstellen, sondern er ist es eigentlich nur in Beziehung zum Kaligehalt, also relativ. Dies zeigen uns schon ohne weiteres die bekannten Wolffschen Aschenanalysen. Dennoch ändert dies nichts an der soeben mitgeteilten Tatsache, denn die Kalziummenge der Samen reicht längst nicht aus, um die vorhandenen organischen Reservestoffe auszunutzen.

Die an und für sich recht unzweckmäßig erscheinende Einrichtung findet ihre Erklärung sicherlich in dem Umstande, daß das Kalzium in der verschiedensten Bindungsform von zumeist für die Pflanze leicht zugänglicher Art überall im Boden anwesend ist.

Die Unentbehrlichkeit des Kalziums für die Pflanze vertrat schon de Saussure, aber erst J. Boehm[1]) trat entschieden dafür ein, als er die Erscheinungen des Kalkhungers an Bohnenkeimlingen studierte, und von Raumer[2]) suchte als erster die Funktionen des Kalziums in der Pflanze zu ermitteln. Die erwähnte Feststellung von der stärkeren Beteiligung des Ca und K am Aufbau der Blätter ließ jedoch allein noch keine bindenden Schlüsse zu. Da aber sowohl Boehm sowie v. Liebenberg[3]) und v. Raumer Störungen in der Stoffwanderung bei Kalkhunger erweisen konnten, so findet man auch heute vielfach die Ansicht vertreten, daß das Kalzium beim Umsatz der Kohlehydrate beteiligt sei.

Demgegenüber erblickt man auch wohl in der Eigenschaft des Kalks, die frei auftretende Oxalsäure zu neutralisieren, die einzige physiologische Funktion des Kalziums in der Pflanze. H. S. Reed[4]) hat sich für die Notwendigkeit der Anwesenheit des Kalks beim Wachstum der Chloroplasten ausgesprochen, auch hält er ihn für die mitotische Zellteilung von Bedeutung, insofern diese bei Kalkmangel nur unvollkommen in Erscheinung tritt. Schließlich mag noch erwähnt sein, daß D. Warthiadi[5]) dem Fehlen von Ca das Absterben der Knospen zuschreibt und die Wurzelbehaarung als vom Kalkgehalt abhängig betrachtet, was mit der Beobachtung übereinstimmt, daß der Ausschluß des Ca bei Wasserkulturen eine stark verminderte Bewurzelung zur Folge hat. Jedoch wir wollen uns hier nicht in Einzelheiten verlieren, zumal das bisher in besagter Richtung für den Einfluß des Kalks beigebrachte Material noch eine große Unsicherheit in der ganzen Frage zu erkennen gibt.

Die Wasserkulturversuche erlauben noch am ehesten die Einflüsse des Kalziums auf die Pflanze zu studieren, und es ist z. B. recht auffällig, daß einzelne Salze des Kaliums, Natriums, Magnesiums u. a. für sich allein schädlich auf die Pflanzen einwirken, nicht aber mehr dann, wenn die genannten Elemente oder auch noch andere in einem Salzgemisch vorhanden sind. Bei diesen Erscheinungen kommt den Kalziumverbindungen eine ganz besondere, eigentümliche Rolle zu, indem sie imstande sind, die toxischen Eigenschaften der übrigen Elemente am wirksamsten aufzuheben. Hansteen[6]) hat z. B. nachgewiesen, daß der giftige Einfluß des in seinen Verbindungen allein gereichten Kalis unschädlich gemacht wird, wenn der achthundertste Teil des Kalis in Ge-

---

[1]) J. Boehm, Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien, 1875, 71, S. 287.
[2]) v. Raumer, Landw. Vers.-Stat. 1880, 25, S. 25.
[3]) v. Liebenberg, Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien, 1881, 1, S. 84.
[4]) H. S. Reed, Ann. of Bot. 1907, 21, S. 501.
[5]) D. Warthiadi, Dissertation München 1911.
[6]) Vergl. E. J. Russel, Boden und Pflanze, Dresden 1914, S. 56.

stalt von einem Kalksalz hinzugefügt wird. Am bekanntesten sind aber wohl die Beobachtungen Osterhouts[1]) hinsichtlich der antagonistischen Wirkungen von Salzlösungen auf Tier und Pflanze. Er fand u. a., daß drei Wochen in destilliertem Wasser lebende Algen innerhalb weniger Minuten durch Zugabe von $^3/_{32}$ n-NaCl-Lösung abstarben und eine gleiche Lösung von 0,001 Normalität denselben Erfolg nach einigen Tagen hervorrief. Wurde aber ein Grammolekül $CaCl_2$ hinzugesetzt, so trat, selbst bei konzentrierteren NaCl-Lösungen, keine toxische Wirkung auf. $MgCl_2$, $MgSO_4$, KCl, K_2SO_4 wirkten, ein jedes für sich gegeben, toxisch, nicht aber im Gemisch. Wir können aus all diesen Beobachtungen, wenn auch nicht viel, so doch entnehmen, daß das Kalzium bei der Aufnahme der Stoffe in den Pflanzenkörper von Wichtigkeit ist, indem es die schädlichen Einflüsse einseitiger Lösungen mindert.

In der Form des oxalsauren Kalks, und zwar im kristallisierten Zustande, findet man das Kalzium bekanntermaßen an vielen Orten der Pflanze dauernd zur Ablagerung gelangt. In diesen Fällen ist man berechtigt anzunehmen, daß unser Element seine funktionellen Aufgaben zur Hauptsache erfüllt hat. Auch deutet dieses Verhalten auf ein geringes Vermögen zu wandern hin, und es ist diesem Umstande zuzuschreiben, daß der Kalk gleich der Kieselsäure, im Gegensatz zum Kali, im Herbst teilweise im Blatt verbleibt. Die größte Menge an Kalk finden wir daher gewöhnlich auch dort, wo das Leben zu erlöschen beginnt, d. i. in den Blättern mit zunehmendem Alter, in den Stengeln und Rinden an den Stellen eingetretener Verholzung. Die Anwesenheit des Kalziums in den Säften in gelöster Form als oxalsaures oder seltener weinsaures Salz tritt demgegenüber verhältnismäßig stark zurück, denn auch hier pflegt sich eine Ausscheidung der kristallisierten Salze einzustellen. Schließlich findet sich das Kalzium noch an Phosphor- und Schwefelsäure gebunden vor, ob es aber auch in hochmolekularer organischer Bindung in der Pflanze vorhanden sein mag, das wissen wir vorläufig noch nicht. Die uns bei den Proteinstoffen bekannt gewordene lockere Bindungsart des Kalks oder eigentlich des Kalkphosphats kann hierfür wohl kaum in Anspruch genommen werden.

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß alle blattreichen Pflanzen sehr des Kalks bedürfen, und man hat sogar infolgedessen von Kalkpflanzen im Gegensatz zu Kali- und Kieselpflanzen gesprochen. Vor allen Dingen kommen die Kleearten, die Erbsen, Bohnen, Wicken usw. als Kalkpflanzen in Frage. Aber auch der Tabak muß mit Recht als eine kalkliebende Pflanze gelten, denn es werden dem Boden durch eine mittlere Tabakernte je ha 3 Ztr. CaO entzogen, der Rotklee entnimmt dem Boden unter gleichen Verhältnissen $2^1/_2$ und die Erbse 1 Ztr.,

[1]) Osterhout, Jahrb. f. wiss. Bot. 1908, 46, S. 121.

während Kartoffeln und Zuckerrüben nur je $^1/_2$, Weizen sogar nur $^1/_4$ Ztr. CaO der gleichen Bodenfläche entführen.

Als assimilationsfähige Kalkverbindung steht wohl das wasserlösliche Bikarbonat an erster Stelle. Es schließt sich das neutrale Karbonat, das durch die Pflanzenwurzel leicht in Lösung gebracht werden kann, an, und ähnliches trifft für den phosphorsauren Kalk, soweit er nicht als Monophosphat schon wasserlöslich ist, zu. Ferner erweisen sich die leichtlöslichen Salze des Kalziums, wie das Nitrat und Sulfat, mit Ausnahme jedoch des Chlorids, und schließlich auch noch das Kalziumsilikat zur Aufnahme geeignet.

In Bezug auf einen etwaigen Ersatz des Kalziums durch Strontium sind die Meinungen sehr geteilt. Es mag aber darauf hingewiesen sein, daß E. Haselhoff[1]) und auch G. Hager[2]) warm für eine solche Möglichkeit eingetreten sind. Nach Versuchen O. Loews[3]) mit Algen wirken jedoch Strontiumverbindungen auf die Chlorophyllkörper und demzufolge auf das Vermögen der Stärkebildung schädlich ein.

Mit der schon erwähnten antagonistischen Wirkungsweise des Kalziums steht noch eine solche des Magnesiums in Bezug auf den Kalk im Zusammenhang. In der Loewschen Lehre vom Kalkfaktor tritt uns dieses Verhältnis vom Mg zum Ca entgegen, und wir können nicht umhin hierauf kurz einzugehen, zumal in letzter Zeit die Lehre vom Kalkfaktor rege Aufmerksamkeit der Fachkreise auf sich gelenkt hat.

Die Untersuchungen von Raumer aus dem Jahre 1883 hatten schon erkennen lassen, daß Pflanzen schneller zugrunde gehen können, wenn ihnen bei Ausschluß von Kalk Magnesiumsalz gereicht wird, als wenn auch dieses nicht vorhanden ist. Durch Oskar Loew fanden diese Beobachtungen Bestätigung und der Genannte lehrte, indem er seine Ergebnisse zusammenfaßte, daß ein Boden um so weniger zur Pflanzenkultur geeignet sei, je stärker das Kalzium vom Magnesium übertroffen werde. Loews Schüler Aso hat daran anschließend das Verhältnis von CaO : MgO im Nährsubstrat in seiner Wirkung auf die verschiedensten Kulturpflanzen planmäßig zu erforschen gesucht. Er konnte für junge Weizenpflanzen und Reis das Verhältnis von 1 : 1 als am günstigsten feststellen, während sich die Gerste am besten bei einem solchen von 2 CaO : 1 MgO entwickelte. Bei der Sojabohne stellte sich als am günstigsten ein Verhältnis von 2—3 CaO : 1 MgO heraus, und ein anderer Schüler Loews fand für Buchweizen das Verhältnis 3 : 1, für Kohl 2 : 1, für Hafer 1 : 1 als das optimale Bedingungen schaffende Verhältnis. Auf Grund dieser und noch anderer Ermittelungen hat Loew seine Hypothese vom Kalkfaktor, mit welchem Wort er das Verhältnis

[1]) E. Haselhoff, Landw. Jahrb. 1893, 22, S. 851.
[2]) G. Hager, Diss. Dresden 1909.
[3]) O. Loew, Flora 1911, 102, S. 96.

von CaO : MgO im Substrat bezeichnete, aufgebaut. Der Begriff des Kalkfaktors besagt also nichts anderes, als daß die beiden Basen CaO und MgO, um eine maximale Entwicklung der Pflanze herbeizuführen, in einem für eine jede Pflanzenart oder Pflanze bestimmten Verhältnis gleicher Aufnahmefähigkeit gereicht werden oder vorhanden sein müssen. Nach Loews Ansicht benötigt ein Organ einen um so höheren Kalkfaktor, um so größer seine Zellmasse ist, denn im Kern der Zelle wie in den Chloroplasten seien große Mengen von Kalkproteinverbindungen vorhanden. Ist nun die einer Pflanze gebotene Nahrung reich an Mg, aber arm an Ca, so soll ersteres an Stelle des letzteren treten und dadurch Desorganisationserscheinungen am Kern und an den Chlorophyllkörnern zum Schaden der ganzen Pflanze hervorgerufen werden.

Schon weit früher vor der Aufstellung der Lehre vom Kalkfaktor sind ähnliche Beobachtungen gemacht worden, so z. B. von Emil von Wolff[1]), und wie uns die schon bekannt gewordenen Untersuchungen Osterhouts, den Antagonismus betreffend, sowie noch andere belehren, handelt es sich in all diesen Erscheinungen darum, daß sich die Ernte und die Entwicklung der Pflanze nicht nur nach dem Verhältnis von zwei Nährstoffen — nämlich Kalk und Magnesia — richtet, sondern sich von dem Verhältnis aller Nährstoffe zueinander als abhängig zeigt, wie sich dieses ja auch aus dem Gesetz der physiologischen Beziehungen ergeben muß.

Die Hypothese vom Kalkfaktor ist von den verschiedensten Seiten einer eingehenden aber z. T. sehr ablehnenden Kritik unterzogen worden, obgleich es auch nicht an Zustimmung gefehlt hat, wenn letztere auch weit spärlicher ausgefallen ist. Namentlich haben sich in neuerer Zeit auf Grund eigener Versuche E. Haselhoff[2]), D. Meyer[3]), O. Nolte[4]), W. Benecke[5]), Th. Pfeiffer[6]), besonders aber O. Lemmermann[7]), und zwar dieser geradezu vernichtend über Loews Lehre geäußert, worauf natürlich hier nur hingedeutet werden kann. Vor allen Dingen dürfte die Frage nach der spezifischen Wirkung des Magnesiums gegenüber Kalzium noch nicht einwandfrei beantwortet worden sein, und die physiologischen Wechselbeziehungen zwischen Ca und Mg scheinen sich im Gegenteil viel komplizierter zu gestalten, als es von Loew angenommen wird, denn der Kalk vermag nicht schlechthin einen Überschuß von MgO zu kompensieren, wenn auch wohl anzunehmen ist, daß

[1]) E. v. Wolff, Landw. Vers.-Stat. 10, S. 349.
[2]) E. Haselhoff, Landw. Jahrb. 45, 1913, S. 609.
[3]) D. Meyer, Landw. Jahrb. 33, 1904, S. 371; 40, 1911, S. 339.
[4]) O. Nolte, Journal f. Landw. 64, 1916, S. 343.
[5]) W. Benecke, Bot. Ztg. 1903, 88.
[6]) Th. Pfeiffer u. A. Rippel, Journal f. Landw. 68, 1920, S. 5 u. 69; 1921, S. 1.
[7]) O. Lemmermann, Landw. Jahrb. 40, 1911, S. 173.

beide Elemente hervorragenden Anteil an der Herstellung des physiologischen Gleichgewichtes nehmen.

Welche besondere Bedeutung dagegen dem Magnesium als Bestandteil des Chlorophylls nach den klassischen Untersuchungen E. Willstätters zukommt, das haben wir schon an anderer Stelle erfahren. Das Magnesium tritt also als Bestandteil in die hochorganisierte Substanz der Pflanze ein, und zwar in jene organische Verbindung der Pflanze, der wir eine ganz hervorragende Mitbeteiligung beim Assimilationsvorgang einräumen müssen, ohne deren Gegenwart überhaupt keine Pflanzenproduktion möglich ist. Wir haben es daher im Mg mit einem wesentlichen und unentbehrlichen Aschenbestandteil zu tun. Allerdings hat sich diese Erkenntnis auch schon vor Willstätters Untersuchungen Bahn gebrochen, wenn auch nur auf Grund des Ausfalls von Wasserkulturversuchen, die dargetan hatten, daß ohne Mg kein normaler Pflanzenwuchs zu erreichen sei.

Wir finden das Magnesium infolgedessen auch stets in der Pflanzenasche, wenngleich in etwas geringerer Menge als das Kalzium. Jedoch in den Samen, und zwar besonders in den Samenhüllen, überwiegt es im allgemeinen gegenüber Ca, so daß in seinem Auftreten nicht ständig ein Parallelismus mit diesem zu beobachten ist. Das Magnesium begleitet sogar z. T. die Eiweißstoffe auf ihrer Wanderung und wird z. B. beim Getreide in größeren Mengen von der Blüte an in den Körnern angehäuft, während sich das Kalzium in dieser Beziehung ganz anders verhält. Andererseits nimmt das Magnesium in den älteren Blattorganen gemeinsam mit dem Kalzium zu. Es mag auch noch Erwähnung finden, daß Mg für die Ölbildung erforderlich zu sein scheint, wie dieses von Reed[1]) wahrscheinlich gemacht worden ist. Es steht hiermit im Zusammenhang, daß sich ölhaltige Samen auch reicher an Mg erweisen als stärkehaltige. Oftmals hat sich auch eine gleichmäßige Verteilung von Mg und P_2O_5 erkennen lassen, welcher Umstand in Bezug auf die Beteiligung beider Stoffe an der Zusammensetzung der Nukleinsubstanzen von Bedeutung sein dürfte.

Ein Überschuß an Magnesiumsalzen hat schädigende Einflüsse auf die Pflanze im Gefolge, die sich jedoch, wie wir es schon erfahren haben, durch Ca-Zufuhr vermindern lassen. Eine völlige Hemmung des Wachstums tritt aber erst dann ein, wenn relativ recht hohe Gaben verabfolgt werden. Sind Ackerböden überkalkt worden, so können reichliche, leichtlösliche Magnesiasalze diesem Übelstand abhelfen, was als Wirkung des Kalkfaktors erklärt wird (Daikuhara), aber auch auf andere Verhältnisse zurückgeführt werden kann. Auch hat Warthiadi[2]) bei einem verhältnismäßig hohen Mg-Reichtum im Boden eine Verminderung der

[1]) H. S. Reed, Annal of Bot. 1907, S. 501.
[2]) D. Warthiadi, Diss. München 1911.

Wurzelbehaarung und Deformation derselben nachweisen können, und nach Hansteen[1]) soll das Magnesium ein viel stärkeres Wurzelgift als Kalium und Natrium sein.

Was nun noch die Aufnahme des Magnesiums in die Pflanze anbetrifft, so erfolgt sie in derselben Weise wie die des Kalziums in der Form des Nitrats, Karbonats oder Sulfats, und zwar ist die letztere Form wohl die geeigneteste, dagegen zeigt sich das Magnesiumchlorid noch weniger als das Kalziumchlorid für diesen Zweck tauglich. In welcher Art nun aber die weitere Verarbeitung der Magnesiasalze in der Pflanze vor sich geht, darüber vermögen wir abermals nichts auszusagen.

g) Der Aschenbestandteil Eisen

Auch das Eisen trifft man in der Asche einer jeden höheren grünen Pflanze an, aber es ist von allen bisher besprochenen Mineralbestandteilen dasjenige Element, das sich in geringster Menge an der Zusammensetzung des Pflanzenkörpers beteiligt, trotzdem es von unersetzlicher Bedeutung für denselben anzusehen ist. Ohne Ausnahme findet sich das Eisen in allen grünen Organen der Pflanze, aber auch in allen sonstigen Teilen, soweit es diesen nicht bei ihrer Ausbildung vorenthalten worden ist. Ja selbst chlorophyllfreie Pflanzen und Organe ermangeln z. T. nicht des Eisens, so daß wir ganz sicherlich auf eine äußerst weitgehende Verbreitung des Eisens im Pflanzenreich und Pflanzenkörper schließen müssen. Daher haben denn auch alle Kulturversuche schon frühzeitig ohne weiteres die Unentbehrlichkeit des Eisens für die höhere grüne Pflanze dargetan.

Schon 1843 gelang es E. Gris[2]) den Nachweis zu liefern, daß die Blätter bleichsüchtig oder chlorotisch werden, wenn man der Pflanze kein Eisen reicht. Aber dieser Zustand konnte durch Verabfolgung von selbst nur geringen Eisenmengen wieder behoben werden. Molisch[3]), Sachs[4]), Salm-Horstmar, Stohmann[5]) u. a. haben diese Feststellung späterhin in allen Einzelheiten bestätigt und damit sichergestellt. Bei den höheren Gewächsen gelingt es leicht auf die genannte Weise Chlorose zu erzeugen, besonders dann, wenn es sich um Pflanzen handelt, deren Samen schon an und für sich mit wenig Eisen ausgestattet sind. Anfangs weisen die derartig gezogenen Pflanzen noch normale Entwicklung auf, erst später bei der Entwicklung der jüngeren Blätter beginnt die

---

[1]) B. Hansteen, Jahrb. f. wiss. Bot. 47, 1910.
[2]) E. Gris, De l'action de composé ferrugineux sur la végétation 1843.
[3]) Molisch, Pflanze und Eisen. 1892.
[4]) Sachs, Flora 1862.
[5]) Stohmann, Landw. Vers.-Stat. 6, 1864, S. 350.

Pflanze zu leiden, wobei gleichzeitig eine Entfärbung der frischen Blätter, die auf mangelhafte Ausbildung der Chlorophyllkörner zurückzuführen ist, stattfindet. Wir haben es hier mit einer Art Bleichsucht der Pflanze zu tun, welcher Zustand geradeso wie bei den unter Lichtabschluß gezogenen Pflanzen dadurch hervorgerufen wird, daß die Chlorophyllkörner anormale Ausbildung erhalten haben. Alle weiteren Folgen ergeben sich hieraus ohne weiteres, da ja eine der grundlegenden Funktionen für die Ernährung der Pflanze eine wesentliche Störung erfahren hat. Früher hat man aus diesem Verhalten der Pflanze den Schluß gezogen, daß das Eisen ein wesentlicher Bestandteil des Chlorophylls sein müsse, dies hat sich aber, wie wir bereits wissen, als irrig herausgestellt, denn nicht das Eisen, sondern das Magnesium nimmt am chemischen Aufbau des Chlorophylls teil.

Die Chlorose ist, wie schon hervorgehoben, durch Eisenzufuhr heilbar, und zwar eignen sich für diesen Zweck sowohl 2- wie 3-wertige Fe-Ionen, die auch sonst als Nahrung in Frage kommen. Für Wasserkulturen hat sich als besonders förderlich Ferriphosphat erwiesen, auch das Sulfat und Chlorid sind anwendbar, dürfen aber nicht in zu starker Konzentration verabfolgt werden. Jedoch auch komplexe Eisen-Ionen, wie solche des gelben Blutlaugensalzes oder des Kaliumferritartrates, sind mit Erfolg verwendungsfähig, dagegen dialysiertes kolloides Eisen nicht. Daß zur Verhütung von Chlorose offenbar nur sehr geringe Mengen von Eisen notwendig sind, zeigt ein Versuch von Molisch, nach welchem bei Bohnen ohne Eliminierung der Kotyledonen niemals rein weiße Blätter erhalten werden. Es muß also schon der Eisengehalt der Keimblätter genügen. Andererseits ist es auch gelungen, durch rein äußere Stoffzufuhr von Eisen in Lösung, nämlich durch Auftropfen solcher auf die von Chlorose befallenen Organe, diese zu heilen. Das ist aber ein ganz besonderer Fall von Beeinflussungsmöglichkeit, der mit Ausnahme der noch zu erwähnenden Versuche mit Ammonsalzlösungen bei der Stickstoffaufnahme durch die Pflanze einzig in seiner Art dasteht. Sachs, Knop und Hiltner haben sich dieser Methode zur Bekämpfung der Chlorose mit mehr oder weniger Glück bedient, und damit dargetan, daß das nichtgrüne Zellprotoplasma des von Chlorose befallenen Blattes gerade dort, wo es mit der Eisenlösung in Berührung kommt, seine natürliche, grüne Färbung wieder erhält.

Eine Wanderung des Eisens aus alten in junge Blätter scheint dagegen weniger einfach zu sein, da meist nur die jungen Blätter die chlorotischen Erscheinungen aufweisen, während die älteren ihre gesunde, grüne Farbe behalten.

Jedenfalls — und dies ist die Hauptsache — besteht beim Eisen kein Zweifel über die physiologische Funktion, die es in der Pflanze zu erfüllen hat. Die Ursache seiner Unentbehrlichkeit liegt hier klar vor

Augen, denn wir haben erkennen müssen, daß das Eisen zur normalen Ausbildung der Chlorophyllkörner und Organe, überhaupt des ganzen Chlorophyllapparates, sowohl nach Farbe wie Beschaffenheit, als absolut erforderlich, somit unentbehrlich, zu gelten hat. Aber trotzdem wir dieses erkannt haben, wissen wir noch nichts über die Art der Leistung, die dem Eisen bei diesem physiologischen Vorgang zufällt.

Außer der Funktion in der chlorophyllhaltigen Zelle, dürfte aber dem Eisen wohl noch eine allgemeinere zukommen, die sich auf den pflanzlichen und den tierischen Stoffwechsel bezieht, denn wir sehen das Eisen in Eiweiß-, Nukleoproteid- und Phosphatidverbindungen auftreten, wenn auch sehr wenig über diese Verbindungen bisher bekannt geworden ist. Zwar kann man das Eisen in der Pflanzenasche der verschiedensten Organe sehr leicht vermittels der bekannten Fe-Ionenreaktionen zum Nachweis bringen, nicht aber gelingt dies nach Untersuchungen von Molisch in den Pflanzengeweben und auch für die tierischen Substanzen gilt dasselbe. Dies deutet aber doch darauf hin, daß das Eisen in komplexer, organischer Bindung in Pflanze und Tier vorhanden ist. Petit[1]) hat denn auch eisenhaltige Nukleinverbindungen aus den Körnern der Gerste hergestellt, und es liegen ähnliche Untersuchungen von Suzuki[2]) vor. Die Frage, ob das Eisen in seinen physiologischen Wirkungen durch andere Metallionen, so z. B. von Mn, Ni und Co, ersetzbar ist, hat schließlich negative Beantwortung erfahren.

An dieser Stelle erscheint es angebracht, noch ein Wort über die sogenannte Kalkfeindlichkeit gewisser Pflanzen, so namentlich der Lupine, zu verlieren, insofern diese Erscheinung vielerseits mit dem Fehlen des Eisens in den betreffenden Pflanzen zusammengebracht, bezw. als eine Art Chlorose angesehen worden ist[3]). Wenn auch zugegeben werden muß, daß die Kalkempfindlichkeit unter Umständen durch eine stärkere Eisenzufuhr behoben werden kann, so scheinen doch die Verhältnisse im großen und ganzen noch komplizierter zu liegen, wie dieses schon aus dem von P. Ehrenberg[4]) aufgestellten Kalk-Kali-Gesetz bezüglich der Anteilnahme des Kalis bei diesen Vorgängen hervorgeht, während es sich nach F. Merkenschläger[5]) um einen gestörten Eiweißstoffwechsel handelt.

Die früher vielfach geäußerte Ansicht, daß die Oxydulverbindungen des Eisens den Pflanzen schädlich seien, muß zurückgewiesen werden,

---

[1]) P. Petit, Comp. rend. 117, 1894, S. 1105.

[2]) U. Suzuki, Bull. Agr. Coll. Tokyo 4, 1901, S. 260.

[3]) Vgl. u. a. Th. Pfeiffer u. E. Blanck, Mitt. d. Landw. Institute d. Universität Breslau, Bd. VI, 1911, S. 273.

[4]) P. Ehrenberg, Das Kalk-Kali-Gesetz. Berlin 1919.

[5]) F. Merkenschläger, Fühlings Landw. Ztg. 70, 1921, S. 19 u. 230; desgl. Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung Bd. II, 1923, S. 530.

denn die Annahme, worauf sich jene Auffassung vornehmlich stützt, daß die Fe-Ionen eisenoxydulhaltiger Böden das Pflanzenwachstum ungünstig beeinflussen, kann insofern nicht als stichhaltig gelten, als diese Erscheinung nichts mit dem Eisen als solchem zu tun hat, sondern nur der Ausfluß einer unzureichenden Durchlüftung des Bodens ist. In einem nicht durchlüfteten Boden wird aber das Eisen nicht oxydiert vorliegen, und somit hat man die leicht erkennbare Gegenwart des Eisenoxyduls, obgleich sie nur der Ausdruck einer ungünstigen physikalischen Beschaffenheit des Bodens ist, für die Ursache der Schädigung der Pflanzen auf einem solchen Standort hingenommen.

Eisenlösungen stärkerer Konzentration sind den Pflanzen schädlich, ihr giftiger Einfluß kann aber nach Jul. Stoklasa[1]) durch Aluminium aufgehoben werden. Im allgemeinen müssen wir wohl damit rechnen, daß das Eisenoxydul noch bevor es in die Wurzel gelangt, oxydiert und in der Form von Ferriionen aufgenommen wird.

Zum Schluß möchten wir nochmals zusammenfassend betonen: Die überaus wichtige Funktion des Eisens in der Pflanze ist darin zu erblicken, daß die Bildung des Chlorophylls, des wichtigen Vermittlers beim Assimilationsprozeß, beim Fehlen des Eisens verhindert wird. Da nun aber die Chlorophyllkörper unter dem Einfluß des Lichtes die Kohlensäure zerlegen und aus dieser gemeinsam mit Wasser die organischen Stoffe, zunächst die Kohlehydrate, der Pflanze aufbauen, so ergibt sich ohne weiteres die Wichtigkeit des Eisens für die Pflanze, denn ohne Gegenwart des Eisens erscheint, wenigstens für die höhere grüne Pflanze, die Bildung ihrer Körpermasse nicht möglich.

h) Die übrigen Aschenbestandteile

Außer den bisher betrachteten Aschenbestandteilen kommen, worauf wir schon einmal hingewiesen haben, noch eine große Zahl anderer in der Pflanze vor, aber sie treten unzweifelhaft in ihrer Bedeutung für die Pflanze zurück. Das geht schon für viele daraus hervor, daß wir sie nur selten und nicht stets in einer jeden Asche vorfinden und zumeist auch nur in sehr geringen Mengen. Etwas anders liegt es allerdings wieder bei einigen, die wohl stets in der Pflanzenasche anzutreffen sind, aber trotzdem keine bevorzugte Bedeutung nach unserer heutigen Kenntnis für die Pflanze genießen. Jedenfalls gehören sie sämtlich nicht zu den unentbehrlichen Bestandteilen, wie dies eingehende Kulturversuche mit ihnen schon seit langer Zeit dargelegt haben. Vielfach kann man ihnen sogar nicht einmal einen Nutzen für die Pflanze zubilligen, wenigstens war dies früher allgemein die Ansicht, wenn sich

[1]) Jul. Stoklasa, Über die Verbreitung des Aluminiums in der Natur. Jena 1922.

auch in letzterer Zeit die Auffassung geltend gemacht hat, daß manchen von ihnen dennoch eine gewisse Anteilnahme an besonderen physiologischen Geschehnissen in der Pflanze zukommen dürfte. Wir könnten uns daher über diese Klasse der Aschenbestandteile recht kurz fassen, wenn nicht in der neuzeitlichen Düngerlehre die sogenannten „Reizdüngemittel" ein recht reges Interesse beanspruchen würden. Trotzdem wollen wir aber nur einige Hinweise geben.

Zunächst möge vorausgeschickt sein, daß eine fördernde Einwirkung von an sich giftig wirkenden Stoffen in geringen Konzentrationen auf den Pflanzenwuchs schon lange bekannt ist. Man nennt solche Stoffe im Gegensatz zu den Nährstoffen Reizstoffe oder stimulierende Stoffe und schreibt ihnen eine bessere Ausnutzung der in reichlicher Menge vorhandenen Nährstoffe zu. Schwieriger ist die Frage zu beantworten, von wann an man einen Nährstoff nicht mehr als solchen, sondern als Reizstoff zu betrachten hat, da naturgemäß eine scharfe Grenze nicht zu ziehen ist. Nach Pringsheim[1]) hat ein Stoff als Nährstoff zu gelten, wenn durch Verdoppelung seiner Gabe eine Ertragssteigerung um $^1/_3$ hervorgerufen wird, tritt aber nur eine solche von $^1/_7$ oder weniger ein, so spricht man von einem Reizstoff. Dies sei nur nebenbei bemerkt, um wenigstens rein oberflächlich den Unterschied zwischen Nähr- und Reizstoff wiederzugeben.

Als nicht zu häufig in den Aschen der Pflanze auftretende Bestandteile von immerhin noch gewisser Regelmäßigkeit haben wir zunächst die beiden Halogene Jod und Fluor zu erwähnen, um sodann unsere Aufmerksamkeit den Metallionen Aluminium und Mangan zu schenken.

Wenn auch das Jod in sehr kleinen Mengen häufiger in den Aschen der verschiedensten Pflanzen nachgewiesen werden kann, als dies im allgemeinen angenommen wird, so kommt es in erheblicherer Quantität doch nur in der Asche gewisser Seetange und einiger Strandpflanzen vor. Aber unter den Landpflanzen sollen besonders Wurzelgewächse, so z. B. die Zuckerrübe, ferner stärkearme Knollen wie auch Stengel und Blätter krautartiger Gewächse verhältnismäßig reich daran sein. Der Reichtum der Seetange an Jod ist um so merkwürdiger und beachtenswerter, als das Meerwasser nur sehr geringe Spuren dieses Elementes besitzt. Genannten Pflanzen muß daher unbedingt die Eigenart zugeschrieben werden, eine Konzentration dieses Elementes in ihrer Körpermasse vollbringen zu können, woraus sich andererseits entnehmen läßt, daß das Jod irgendeine Bedeutung für den Organismus dieser Pflanzen hat. Vielleicht handelt es sich um die Bildung jodhaltiger Eiweißsubstanzen, wie solche in der Schilddrüse des Menschen nachgewiesen worden sind. Die von Jul. Stoklasa[2]) behauptete günstige

[1]) Pringsheim, Zeitschr. f. Bot. 6, 1914, S. 577.
[2]) J. Stoklasa, Compt. rend. 178 (1924) 120—123.

Wirkung kleiner Jodmengen in Form von KJ auf die Entwicklung der Zuckerrübe konnte allerdings durch E. Ungerer[1]) keine Bestätigung finden, und die von den Japanern am Ende des vorigen Jahrhunderts ausgeführten Joddüngungsversuche erscheinen in Hinsicht auf die von ihnen benutzten geringen Jodmengen und den außerordentlich hohen Erfolg derselben als sehr zweifelhaft. Wir dürfen daher das Jod wohl als von keiner Bedeutung für die höhere Pflanze ansehen.

Das Fluor ist ein für den Tierorganismus nicht zu unterschätzendes Element, wie sich dies schon ohne weiteres aus dem Gehalt der Knochen und des Zahnschmelzes ergibt. Derartig liegen aber die Verhältnisse im Pflanzenreich nicht, denn von einem allgemeinen Auftreten ist hier keine Rede. Zwar scheint auch Fluor in sehr kleinen Mengen, also in Spuren oder dergleichen, recht häufig vorhanden zu sein, aber um bemerkenswerte Mengen handelt es sich selbst in den Samenhüllen der Getreidearten nicht. Sowohl Fluoride als kieselfluorwasserstoffsaure Salze, aus welchen das Fluor von den Pflanzen aufgenommen werden kann, sind schon in kleinen Gaben toxisch wirksam, so daß allein schon von diesem Gesichtspunkt aus eine regere Beteiligung des Fluors als Nährstoff wenig aussichtsreich erscheint. Das unter natürlichen Verhältnissen von der Pflanze dem Boden entzogene Fluor entstammt wohl zumeist dem Apatit und Turmalin. Schon G. Tammann[2]) hat gezeigt, daß Erbsen in einer Nährlösung mit 0,1 ‰ KF sehr schnell eingehen, und daß eine so geringe Menge Kieselfluorkalium wie 0,008 g je Liter schon nach zwei Tagen tödliche Folgen für die damit behandelten Pflanzen hervorrief. In sehr kleinen Gaben soll das Fluor aber auch als Stimulans fungieren, und es erscheint nicht ausgeschlossen, daß die Anwesenheit von Fluor in gewissen Organen der Pflanze sich als eine Art Schutzmittel gegen äußere Angriffe seitens der Tiere betätigen kann, insofern dieses Element ein an sich schädlich wirkender Stoff ist.

Das Vorhandensein von Titan in den Aschen der Pflanzen ist schon seit längerer Zeit bekannt und wird auch dieses Element neuerdings als für physiologisch wirksam in der Pflanze gehalten, so u. a. von Traetta Mosca[3]), während es besonders A. Neméc und V. Kaš[4]) als einen Reizdünger empfehlen. Nähere Angaben über den Gehalt der Pflanzen an Titan bringt W. Geilmann[5]) bei und nach Neméc und Kaš soll das Titan nicht nur ganz bedeutende Steigerungen der Erträge an Senf, Erbsen und Luzerne hervorgerufen haben, sondern es wird ihm

[1]) E. Ungerer, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung Bd. 4 (1925) 369.

[2]) G. Tammann, Zeitschr. f. physiol. Chemie 12, 1888, S. 323.

[3]) Traetta Mosca, Gaz chim. ital. 43, II, 437; Agr. chem. Zentralblatt 1904, I, S. 272.

[4]) A. Neméc u. V. Kaš, Biochem. Zeitschr. 140, 1923, S. 583.

[5]) W. Geilmann, Journal f. Landw. 68, 1920, S. 107.

auch eine Beteiligung am Assimilationsvorgang der grünen Pflanze zugeschrieben, insofern als es den Katalysator Eisen zu ersetzen imstande sein soll. Untersuchungen von E. Blanck und F. Alten [1]) haben jedoch ergeben, daß das von den soeben Genannten benutzte Natriumtitanat keinen Einfluß besagter Art auf die Pflanzenproduktion ausübt, so daß man den dem Titan nachgerühmten Wirkungen mindestens skeptisch gegenüberstehen muß.

Der Bedeutung des Aluminiums für den Bau- und Betriebsstoffwechsel der Pflanzen hat zwar Jul. Stoklasa [2]) ein ganzes Buch gewidmet, ohne jedoch den überzeugenden Beweis für die Wichtigkeit und Unentbehrlichkeit dieses Elementes für die Pflanze zu erbringen. Er glaubt u. a., daß das Aluminium in organischer Verbindung ein wichtiger Baustein der Zellulose sei, aber auch in Hinsicht auf antagonistische Wirkungen soll es sich auszeichnen. Dagegen ist andererseits als sicher festgestellt zu erwähnen, daß Aluminiumverbindungen einen Einfluß auf die Blütenfarbe, insbesondere der Hortensien, ausüben, woraus man bekanntlich im gärtnerischen Betrieb Nutzen zieht.

Viel umstrittener ist die Frage nach der Bedeutung des Mangans für die Pflanze, sie hat in den letzten zwei Dezennien eine wahre Flut von Untersuchungen heraufbeschworen, da dieses Element seitens gewisser ausländischer Forscher geradezu als ein Universalmittel zur Hebung der Ernteerträge hingestellt worden war. Selbstverständlicherweise kann die Manganfrage an dieser Stelle nicht aufgerollt werden, schon allein deswegen nicht, weil sie mehr in das Gebiet der praktischen Düngelehre fällt und zudem ihre praktische Auswertung doch nur von untergeordneter Bedeutung ist. Wenn trotzdem bis zu einem gewissen Grade hier auf sie eingegangen wird, so geschieht dies einzig und allein aus dem Grunde, um vor der Benutzung der Reizdünger, zu deren Hauptvertretern das Mangan gehört, zu warnen, denn der geringe Nutzen, den sie u. U. stiften, steht in keinem Verhältnis zum Aufwand.

An und für sich ist das Mangan zwar ein recht weit verbreiteter Aschenbestandteil, jedenfalls ist es viel häufiger als das Aluminium anzutreffen, und zwar sind es namentlich die Aschen der Waldbäume, die stets Mangan, wenn auch nur in geringen Mengen, führen. Es sagt uns jedoch, wie wir bereits wissen, ein derartiger Tatbestand nicht viel über den Nutzen oder Wert, noch weniger über die physiologischen Funktionen eines solchen Bestandteils als Pflanzennährstoff aus.

Oskar Loew [3]) und seinen Mitarbeitern fällt das zweifelhafte Verdienst zu, nicht nur als erste die Frage nach der düngenden Wirkung

[1]) E. Blanck u. F. Alten, ebenda 72, 1924, S. 103.

[2]) Stoklasa, Über die Verbreitung des Aluminiums in der Natur. Jena 1922.

[3]) Oskar Loew, Bull. of the College of Agrikulture Tokyo Vol. V, VI u. VII, 1902—1906.

der Mangansalze angeschnitten, sondern auch eine große Anzahl von Versuchen diesbezüglicher Art ausgeführt zu haben. Sieht man sich aber nach den Erfolgen der Manganwirkung auf das Pflanzenwachstum in diesen und anderen Versuchen genauer um, so erkennt man bald, daß es sich kaum um einen „marked effect", wie jene Forscher meinten, handelt. Sowohl Versuchsanstellung wie das Fehlen von Paralleluntersuchungen lassen die gewonnenen Ergebnisse als nicht befriedigend erscheinen. In Italien, Japan, Frankreich, der Tschechoslowakei und anderen Ländern hat man sich gleichfalls sehr für die Manganfrage erwärmt, jedoch die meisten der dort ausgeführten Versuche konnten im günstigsten Fall nicht mehr denn einen stimulierenden Einfluß dartun, und eingehende Untersuchungen Leitreiters[1]) in Rostock konnten gleichfalls einer objektiven Kritik nicht standhalten.

Zu diesen Prüfungen wurden die verschiedenartigsten Manganverbindungen benutzt, so z. B. Oxyde, Sulfat, Nitrat, Karbonat, d. h. in Bezug auf ihre Löslichkeitsverhältnisse recht abweichende Substanzen herangezogen, und wenn auch hier und da ein geringes positives Ergebnis zu beobachten ist, so läßt die Gesamtheit der Untersuchungen doch auf keine wirklich fördernde Wirkung des Mangans schließen. Th. Pfeiffer und E. Blanck[2]) haben sich in mehreren Arbeiten der Angelegenheit angenommen und sind auf Grund ihrer eigenen Untersuchungen wie der ihrer Vorgänger zu dem Ergebnis gelangt, daß es sich in letzteren zumeist um Scheinerfolge gehandelt hat, die ihre Erklärung in einer unzureichenden Versuchstechnik finden. Diesem Urteil haben sich die meisten deutschen Forscher[3]), die sich noch späterhin mit der Manganfrage beschäftigt haben, angeschlossen.

Man hat die Wirkung des Mangans als eine katalytische hingestellt, oder den Mangansalzen eine wichtige Rolle bei der Assimilation des Salpeterstickstoffs und der Bildung von Eiweiß in der grünen Pflanze beigemessen. Auch bei gewissen mikrobiologischen Vorgängen im Boden sollten die Manganverbindungen beteiligt sein, ebenso wie auch die Knöllchenbakterien durch sie eine Beeinflussung erfahren sollen. Jedoch einen tatsächlich greifbaren Erfolg hat man in all den genannten Richtungen nicht zu erweisen vermocht. Nur der Einfluß, den das Mangan bei der Bekämpfung der Dörrfleckenkrankheit ausübt, scheint als einzig positive Wirkung erkannt worden zu sein.

Unser Urteil über die Mangandüngungsfrage glauben wir daher am besten mit den Worten P. Ehrenbergs[4]) über diesen Gegenstand wieder-

[1]) Inaugural-Dissertation, Rostock 1910.

[2]) Th. Pfeiffer und E. Blanck, Landw. Vers.-Stat. 77, 1912, S. 33 und 83, 1913, S. 257.

[3]) So z. B. P. Ehrenberg und O. Nolte, H. Vageler, E. Haselhoff u. a.

[4]) P. Ehrenberg und K. Schultze, Journal f. Landw. 64, 1916, S. 127. Im Original gesperrt gedruckt.

zugeben, der in Hinsicht auf seine eigene, umfangreiche Untersuchung sagt: „Dieselbe hat uns zwar einige Hinweise darauf gebracht, daß Mangangaben unter geeigneten Bedingungen durch Basenaustausch günstig auf die Stickstoffernte wirken können, und daß derartige Zusammenhänge auch bei den Versuchen anderer Forscher eine gewisse Beachtung beanspruchen können, wenigstens hier und da. Auch daß die Konzentrationserhöhung der Bodenlösung durch besonders hohe Gaben von manganhaltigen Verbindungen nicht unberücksichtigt bleiben darf, wurde erkannt, im Anschluß an bereits von Pfeiffer und E. Blanck nach dieser Richtung hin geäußerte Ansichten. Was indessen vor allem angestrebt wurde, eine Bestätigung und Sicherung der Anschauungen über wichtige Reizwirkungen des Mangans, blieb unerfüllt. Unsere Versuche können in ihrer Gesamtheit nur als ein Beleg dafür angesehen werden, daß jedenfalls unter mannigfachen Umständen weder fördernde, noch hemmende Wirkungen der Manganverbindungen auf das Wachstum unserer Kulturpflanzen als sichergestellt anzusehen sind.“ Und ferner heißt es bei Ehrenberg in Hinblick auf die praktische Anwendung des Mangans: „Solange aber nicht eine starke Bürgschaft dafür vorliegt, daß die Anwendung von Mangan wenigstens in der überwiegenden Zahl von Fällen wirkliche, erhebliche Vorteile bringt, solange werden wir nicht von irgend einer gesicherten Wirkung des Mangans reden dürfen. Besonders werden wir solange aber allen Bestrebungen, dem Landwirt manganhaltige Stoffe als angeblich vorzüglichen Dünger zu verkaufen, auf das allerschärfste entgegentreten müssen“.

Die letzten Worte Ehrenbergs treffen auch entschieden auf das Blei zu, das von Stutzer[1]) als Reizdünger empfohlen wurde. Auch dem Chrom hat man derartige Eigenschaften nachgerühmt.

Etwas anders scheinen allerdings die Verhältnisse bezüglich des Kupfers zu liegen, worauf noch zum Schluß hingewiesen sein möge. Nach Versuchen von W. Freckmann[2]) kann das Kupfer bezw. Kupfersulfat mit Erfolg gegen das frühzeitige Erfrieren der Gewächse auf Moor angewandt werden, und A. Densch und Hunius[3]) haben erst letzthin auf den fördernden Einfluß dieses Salzes auf den Körnerertrag aufmerksam gemacht. Die Erhöhung des Chlorophyllgehaltes durch Cu verursacht nach ihnen gesteigerte Assimilation und dementsprechende Vermehrung von organischer Substanz. Im allgemeinen wirken jedoch derartige Metalle, wie die letztgenannten, in ihren Salzen bei höherer Konzentra-

[1]) A. Stutzer, Journal f. Landw. 64, 1916, S. 1; ferner P. Ehrenberg und O. Nolte, Fühlings Landw. Ztg. 65, 1916, S. 559.

[2]) W. Freckmann, Mittlg. d. Ver. z. Förd. d. Moorkultur i. D. R. 34, 1916, S. 245 u. 261.

[3]) A. Densch und Hunius, Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Düngung A, Bd. 3, 1924, S. 369.

tion stark giftig auf das Pflanzenleben ein. Das bekannte Vorkommen von Zink in manchen Pflanzen, besonders im Galmei-Veilchen sei noch erwähnt, ebenso, daß Arsen, Strontium und Baryum gelegentlich in den Aschen mancher Pflanzen nachzuweisen sind. Vom Bor vermochte E. Haselhoff[1]) darzutun, daß die Schädlichkeitsgrenze desselben schon bei 0,00001 % im Boden liegt.

Damit wollen wir jedoch die Erörterung solcher Fragen, die für die praktische Landwirtschaft bedeutungslos sind, abbrechen und uns im nächsten Kapitel wieder der organischen Pflanzensubstanz zuwenden, aber diesmal, um den Aufbau derselben wie überhaupt die damit verbundenen Stoffwechselvorgänge kennen zu lernen.

---

[1]) E. Haselhoff, Landw. Vers.-Stat. 79, 1913, S. 399.

Teil II

Die Bildung und Umbildung der organischen Substanz in der Pflanze

a) Die Kohlenstoffassimilation

Erinnern wir uns der anfangs unserer Darlegungen mitgeteilten allgemeinen Gleichung der Pflanzensubstanzerzeugung aus Kohlendioxyd und Wasser, welche lautete:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_xH_{2y}O_{2x+y-z} + z\,O,$$

so liefert sie uns den allgemeinsten Ausdruck für die nunmehr von uns etwas näher zu betrachtende Kohlenstoffassimilation. Sie zeigt uns, um dieses nochmals wegen der prinzipiellen Wichtigkeit hervorzuheben, daß CO_2 und H_2O bei diesem Vorgange unumgänglich erforderlich sind, daß O frei wird und daß als Assimilat sauerstoffärmere Kohlenwasserstoffverbindungen hervorgehen. Als weitere zum Zustandekommen des Vorgangs unbedingt vorhandene Faktoren erkannten wir das Chlorophyll in der Pflanzenzelle und das Sonnenlicht, und zwar letzteres als Spender des hierbei zu leistenden Energieaufwandes. Näheres über den Vollzug dieses so ungemein wichtigen Prozesses sowie über den Ort, wo er sich vollzieht, erfuhren wir jedoch noch nicht, so daß wir dieses nunmehr nachzuholen haben.

Wie schon angedeutet, nennen wir diesen Prozeß Assimilation, um damit zum Ausdruck zu bringen, daß es sich in ihm gewissermaßen um ein Ähnlichmachen, um ein Gleichstellen an und für sich recht verschiedener Stoffe handelt, indem die Nährstoffe CO_2 und H_2O der organischen Pflanzensubstanz gleichgemacht werden. In diesem Sinne reden wir nicht nur von einer Assimilation des Kohlenstoffs, sondern auch von einer solchen des Stickstoffs, wie überhaupt von einer solchen der sämtlichen zur Ernährung der Pflanze dienenden Stoffe, deren es, wie wir wissen, eine große Zahl gibt. Als die wichtigste aller Assimilationen erscheint uns die Kohlenstoffassimilation, jedoch erweist sich eine solche Auffassung insofern als nicht berechtigt, als im Grunde alle Assimilationen gleich wichtig sind, da es sich in ihnen um die Aufnahme unentbehrlicher Elemente für den Aufbau der Pflanzenmasse handelt.

Den Ort, wo die C-Assimilation stattfindet, sind wir in der Lage leicht zu bestimmen, da nur in der chlorophyllhaltigen Zelle assimiliert

wird. Das ist ein unmittelbar aus der Erfahrung entnommener Satz. Selbst einer einzelligen Alge kommt, wenn sie die Einrichtung dazu besitzt, d. h. chlorophyllhaltig ist, das Vermögen, C zu assimilieren, ebenso gut zu wie den kompliziertesten chlorophyllführenden Organen der höheren Pflanzen. Jede Pflanzenzelle an sich hat also nicht die Fähigkeit, organische Substanz aus anorganischer zu erzeugen. Als leicht erkennbares, äußeres Zeichen der Assimilationsfähigkeit einer Pflanzenzelle hat aber die schon mehrmals erwähnte Grünfärbung derselben zu gelten. Überall, wo wir eine solche antreffen, können wir den Vollzug des Assimilationsvorganges voraussetzen, und in der Tat hat dies auch das Experiment bestätigt. Nur wenige Ausnahmen kennt man von dieser Regel, nämlich dann, wenn die grüne Farbe des Chlorophylls durch eine meist rote Färbung verdeckt wird, so daß eine Farbmischung resultiert. Solche Fälle sind ganz allgemein bekannt bei gewissen Algen und Flechten, aber auch von höheren Pflanzen sind sie bekannte Erscheinungen, man denke nur an die Blutbuchen, an die roten Haselnußstraucharten und von den Kulturpflanzen an die roten Rüben und den Rotkohl.

Da die chlorophyllfreien, nicht grünen Pflanzen bezw. Pflanzenteile nicht zu assimilieren vermögen, so sind sie gezwungen, sich auf andere Art ihre Nahrung zu beschaffen, wie dies ja hinlänglich von Schmarotzerpflanzen gewisser Art, von Pilzen und dergl., wie überhaupt von den sogen. heterotrophen Pflanzen bekannt ist. Andererseits zeigt sich aufs deutlichste ein enger Zusammenhang zwischen Neubildung von organischer Substanz und dem Vorhandensein grüner Organe, wie dies bei der Entwicklung der Kulturpflanzen alljährlich zur Beobachtung gelangt. Auch hier braucht nur für das Getreide an die Zeit des „Schossens“ erinnert zu werden, um damit den Sachverhalt deutlich vor Augen zu führen.

Das Organ, in welchem das Chlorophyll seinen Sitz hat, ist die Zelle. Derartige Zellen unterscheiden sich aber weder in Größe noch in Form von solchen, welche kein Chlorophyll führen, nur in der Beschaffenheit des Zellinhalts, nämlich des Protoplasmas, ist ein Unterschied gegeben. Die nähere Bekanntschaft mit Zelle und Protoplasma vermittelt die Physiologie. Für uns genügt es zu erfahren, daß wir als Protoplasma eine als Zellinhalt auftretende, manchmal auch nicht von einer Zellhaut umgebene, halbflüssige oder gallertartige oder auch körnig ausgebildete, organische Substanz anzusehen haben. Jedoch diese Merkmale haben nur als rein äußerliche zu gelten, denn die wichtigste und das Wesen des Protoplasmas ausmachende Eigenschaft ist ihr Vermögen, alle möglichen organischen Neubildungen hervorzurufen, so daß das Protoplasma als Sitz der physiologischen Tätigkeit der Pflanze aufzufassen ist.

Ist die Zelle noch jung, so erfüllt das Protoplasma diese mit Ausnahme der sogen. Vakuole noch ganz; mit zunehmendem Alter schrumpft das Protoplasma aber ein oder verschwindet auch ganz, womit gleichzeitig eine Verminderung der physiologischen Tätigkeit, insbesondere des Vermehrungsvermögens, einhergeht. Die mit Chlorophyll ausgestattete Zelle kann nun entweder durch ihre ganze Masse hindurch grün gefärbt sein, oder diese Färbung beschränkt sich nur auf einen Teil des Protoplasmas, welch letzterer Fall der häufigere ist und Veranlassung zu einer Ausbildung von grüngefärbten Körnern, Bändern oder dergl. Körpern gibt. Diese bezeichnen wir kurzweg als Chlorophyllkörper, sie sind die Träger der Assimilationserscheinungen.

In den höheren Pflanzen, mit denen wir ja eigentlich nur etwas zu tun haben, treten eine größere Anzahl solcher mit Chlorophyllkörpern versehene Zellen zu Organen zusammen und bewirken zur Hauptsache die Ausbildung der organischen Pflanzensubstanz. Wir nennen diese Organe Blätter oder besser Laubblätter, sie zeichnen sich durch eine sehr zweckentsprechende Gestalt aus, und wir erkennen sogleich, daß der auf diese Weise zustandegekommene Blattbegriff ein rein physiologischer ist. Diese wenigen Angaben mögen genügen, um uns den Apparat, in dem sich die Assimilation vollzieht, zu veranschaulichen. Es sind also die Zellen der Blätter, denen besagtes Vermögen zukommt. Es muß aber noch hinzugefügt werden, daß die Bildung der organischen Substanz auch nur dann durch die genannte Einrichtung vollzogen werden kann, wenn das Protoplasma ziemlich wasserreich ist. Dieser Umstand erweist sich von größter Bedeutung für die Landwirtschaft, insofern als er die Erklärung dafür abgibt, warum der Graswuchs und der Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen zu wasserarmen Zeiten schon stark leiden, bevor die Pflanzen durch die Trockenheit absterben.

Woher bezieht nun aber die Pflanze das Rohmaterial — CO_2 und H_2O — für den Assimilationsvorgang? Das Kohlendioxyd entnimmt sie der umgebenden Atmosphäre, während sie nur einen kleinen Teil des Wassers in Gestalt von Wasserdampf aus dieser Quelle zu schöpfen vermag, der überaus größere Anteil wird dem Boden entnommen. Die Aufnahme des Kohlendioxyds und Wasserdampfs wird durch eine unzählige Menge kleiner Öffnungen an der Unterfläche des Blattes ermöglicht, sie heißen Spaltöffnungen. Wenigstens ist es derartig der Fall bei allen höheren Pflanzen, nur bei den Wasserpflanzen, die uns eigentlich nichts angehen, ist die ganze Blattfläche geschlossen, und es dringt hier das Kohlendioxyd auf dem Wege der Diffusion in das Blattinnere. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, daß die Wasserpflanzen die Kohlensäure überhaupt nicht direkt aus der Luft erhalten, sondern im gelösten Zustande dem Wasser entnehmen. Auch möge noch bemerkt sein, daß die Pflanze in einer reinen CO_2-Atmosphäre nicht imstande

ist zu assimilieren, dies trifft erst dann zu, wenn für eine zweckentsprechende Verdünnung dieses Gases mit O, H, N oder anderen unschädlichen gasförmigen Stoffen gesorgt ist.

Andererseits hat man auch geglaubt, daß die Pflanze außer CO_2 noch andere C-Verbindungen verwenden könne. So hat man an die Aufnahme von CO_2 aus den Karbonaten des Bodens durch die Wurzeln oder sogar von organischen C-Verbindungen gedacht. Die Möglichkeit, daß manche dieser Körper Verwertung finden können, muß zwar zugegeben werden und wurde auch z. T. erwiesen, aber unter den natürlichen Bedingungen kommt wohl nur die Kohlensäure der Luft als C-Quelle in Frage. Schon 1779 ist dieses von Ingen-Housz gelehrt und 1804 von Th. de Saussure bestätigt worden.

Aber Chlorophyllkörner, CO_2 und H_2O allein sind auch noch nicht imstande, organische Substanz zu produzieren. Bei dem Prozeß der Entstehung derselben muß eine Kraft mittätig sein, die den chemischen Vorgang des Verbindens bezw. der Vereinigung von CO_2 und H_2O unter Austritt von O auslöst, denn beide Stoffe an sich reagieren in genannter Richtung nicht aufeinander. Unter den Gesichtspunkten des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft muß bei einem jeden Reduktionsvorgang, und um einen solchen handelt es sich im vorliegenden Fall der Produktion von organischer Substanz, Energie gebunden und festgelegt werden. Nimmt aber dann später das Tier die Pflanzenmasse als Nahrung in sich auf, verbrennt sie vermittels des Sauerstoffs der Luft durch den Atmungsprozeß, so werden wieder beide Körper CO_2 und H_2O frei. Wir erkennen daraus, daß bei dem Vorgang der Assimilation Arbeit, und zwar chemische Arbeit zu leisten ist, die bei dem Oxydationsvorgang im Tierkörper zum Ausgangspunkt für weitere Arbeitsleistungen wird. Diese Kraft erweist sich als eine unbedingte Voraussetzung, nicht nur für die Pflanzenproduktion, sondern für das gesamte organische Leben. Diese Kraft ist, um es kurz zu sagen, die Sonnenenergie in Gestalt von Licht und Wärme.

Diese Ermittelungen allein können uns jedoch nicht befriedigen, wir möchten auch wissen, wie aus CO_2 und H_2O unter Zuhilfenahme von Chlorophyll und Sonnenenergie die Bildung der vielen organischen Substanzen in der Pflanze, von denen wir vernommen haben, geschieht. Das erste Produkt der Assimilation, das man frühzeitig erkannte, war die Stärke, denn sie ließ sich sehr leicht durch die Jodstärkereaktion nachweisen. Daß aber zum Zustandekommen der Stärke unumgänglich Licht, also Sonnenenergie, erforderlich ist, zeigt der folgende, wohl allgemein bekannte Versuch. Setzt man nämlich ein chlorophyllführendes Blatt, in dem keine Stärke nachzuweisen ist, dem Sonnenlichte aus, so färbt sich dasselbe alsbald durch Jodlösung blau, nicht aber, wenn das Experiment unter Ausschluß des Lichtes durchgeführt wird.

Nun ist aber die Stärke ein schon recht kompliziert aufgebautes Polysaccharid, und es ist kaum anzunehmen, daß durch einfachen Zusammentritt der beiden Körper Kohlendioxyd und Wasser, etwa nach der Gleichung $6\,CO_2 + 5\,H_2O = C_6H_{10}O_5 + 12\,O$, schon seine Bildung hervorgerufen wird. Zwar vermag die Pflanze die bewunderungswürdigsten Synthesen auszuführen, aber gegen einen derartigen direkten Zusammenschluß von CO_2 und H_2O zu Stärke sprechen chemischerseits doch die stärksten Bedenken, so daß man denn auch von jeher die Stärke nur als das erste sichtbare Assimilationsprodukt angesehen hat und die Entstehung von Zwischenprodukten einfacherer Art als die der Stärke für selbstverständlich hielt. Jedoch wir haben auch den freiwerdenden Sauerstoff nachzuweisen, denn es handelt sich ja, worauf wir wiederholt hingewiesen haben, um einen Reduktionsprozeß. Von seinem Auftreten können wir uns gleichfalls leicht, und zwar in folgender Weise, überzeugen. Wir nehmen ein geräumiges Glasgefäß und füllen es etwa bis zur Hälfte mit frischem Wasser — CO_2-haltiges oder bikarbonathaltiges ist noch besser — an. Auf dem Boden des Gefäßes breiten wir sodann eine Anzahl frisch geschnittener Blätter aus, und zwar so, daß die Schnittflächen nach oben liegen. Nun stülpen wir über die Blattmasse einen Glastrichter, den wir an seiner zu oberst gekehrten, möglichst breiten Ausflußöffnung mit einem Stopfen versehen, nachdem wir ihn ganz mit Wasser angefüllt haben. Diese Apparatur dem Lichte, am besten dem direkten Sonnenlichte, ausgesetzt, wird bald beobachten lassen, daß sich an den Schnittstellen der grünen Blätter kleine Gasbläschen bilden, die bald zur Ablösung gelangen und nach oben in das enge Trichterrohr steigen, um das dort vorhandene Wasser allmählich zu verdrängen. Hat sich genügend Gas gesammelt, so kann man nach Entfernung des Verschlusses durch Hineinhalten eines glühenden Holzspans die Natur des gebildeten Gases ermitteln. Der Holzspan flammt nämlich auf, und wir erkennen somit, daß Sauerstoff zugegen ist. Aber auch die Frage nach der Herkunft des Sauerstoffs gilt es zu beantworten, und da kann uns folgendes Experiment die gewünschte Auskunft geben. Nimmt man nämlich anstatt des frischen Wassers abgekochtes, so gelingt unser Versuch nicht, und zwar deshalb nicht, weil durch das Kochen die im frischen Wasser enthaltene Kohlensäure entfernt wurde. Wir haben daraus zu entnehmen, daß die Kohlensäure der Rohstoff für den nachgewiesenen Sauerstoff ist, und können dieses dadurch auch noch erhärten, indem wir durch Einleiten von CO_2 in das die Blattmasse enthaltende Wasser wiederum Sauerstoff erhalten, und zwar um so mehr, je mehr CO_2 wir zugeführt haben. Daß aber andererseits, selbst bei reichlicher Gegenwart von CO_2, die Abscheidung von O nicht zustande kommt, wenn es an der nötigen Sonnenbestrahlung fehlt, versteht sich nach dem bisher Mitgeteilten von selbst, bestätigt uns aber zugleich

den Satz von der Unerläßlichkeit der Anteilnahme der Sonnenenergie am Assimilationsvorgang.

Ehe wir auf die oben angedeutete Frage nach der Entstehung einfacherer Zwischenprodukte, die für uns ja von größter Bedeutung sein müssen, eingehen, wollen wir noch einiges über die Rolle nachtragen, die das Sonnenlicht beim Assimilationsprozeß spielt.

Assimilatorisch vermag sich das ganze sichtbare Band des Spektrums wie auch zum größten Teil das Ultraviolett zu betätigen, ausgenommen nur das Infrarot. Nur Strahlen, die vom Chlorophyll absorbiert werden, und das sind solche von bestimmter Wellenlänge, besitzen das Vermögen, in besagter Richtung wirksam zu sein. Die grüne Komponente des Blattfarbstoffs, das eigentliche Chlorophyll, nimmt gelbe und rote Strahlen in sich auf, die gelbe Komponente, das Carotin bezw. Xanthophyll, absorbiert blaue und blauviolette Strahlen. Erstere Strahlen sollen am bedeutungsvollsten für die Assimilation sein. Jedoch diese Kenntnis sagt uns noch nichts über die Art der Beteiligung des Farbstoffs am Assimilationsvorgang aus, wir haben uns daher zu fragen, vermittelt dieser nur den Zusammentritt der Rohmaterialien oder beteiligt er sich unmittelbar daran?

Richard Willstätter und Arthur Stoll[1]) haben sich eingehend mit diesem Problem befaßt und gefunden, daß außer dem Chlorophyll auch noch ein Ferment als Agens mit im Spiele ist. Dabei sollen CO_2 und Chlorophyll zu einer Verbindung zusammentreten, die durch jenes Ferment unter Abspaltung von Sauerstoff wieder gespalten wird, so daß dem Chlorophyll gewissermaßen die Rolle eines Akkumulators für CO_2 zugesprochen werden kann. Da die genannten Autoren[2]) ferner darzutun vermochten, daß CO_2 eine wässerige kolloide Chlorophyllösung in Phäophytin und $MgCO_3$ zerlegen kann, so haben wir das Chlorophyll als eine sekundäre Magnesiumverbindung des Phäophytins aufzufassen, deren beide Valenzen, mit denen das Mg an N gebunden ist, durch CO_2 gelöst werden. Sicherlich geben diese Feststellungen Hinweise auf den Verlauf der Assimilation in der Pflanze, wenn auch zugegeben werden muß, daß nach weiteren Untersuchungen der Genannten gewisse Unterschiede zwischen den Laboratoriumsversuchen und solchen ausgeführt an der lebenden Pflanze bestehen. Daran anschließend erheischt aber die Frage der Sauerstoffabgabe noch der Beantwortung, ebenso wie die nach der Entstehung des ersten Assimilationsproduktes, denn daß die Stärke als ein solches anzusehen ist, mußten wir ja aus rein chemischen Gründen ablehnen.

---

[1]) R. Willstätter u. A. Stoll, Ber. D. chem. Ges. 48, 1915, S. 1540.

[2]) R. Willstätter u. A. Stoll, Ber. D. chem. Ges. 50, 1917, S. 1791 und Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin 1918.

Die schon seit längerer Zeit von Adolf v. Bayer[1]) aufgestellte Hypothese sucht bekanntermaßen diese Kluft zu überbrücken, indem sie als erstes Produkt des Zusammentritts von CO_2 und H_2O unter Austritt von O das Formaldehyd ansieht. Die Gleichung

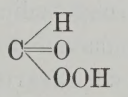
$$CO_2 + H_2O = H \cdot COH + O_2$$

bringt dieses zum Ausdruck. Da aber das Formaldehyd ein äußerst reaktionsfähiger Körper ist, so erlaubt er, die verschiedensten Neubildungen anderer Stoffe leicht zu erklären. Durch Polymerisation von mehreren Aldehydmolekülen können Kohlehydrate entstehen nach den Formeln:

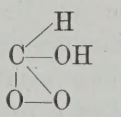
$$6\ H \cdot COH = C_6H_{12}O_6$$
$$5\ H \cdot COH = C_5H_{10}O_5$$
$$3\ H \cdot COH = C_3H_6O_3$$

d. h. es könnten auf diese Weise Glukose, Pentose, Glyzerose in der Pflanze gebildet werden, und da ferner mehrere Glukosemoleküle unter Austritt von Wasser zu Stärke zusammenzutreten vermögen, wäre die Bildung der Stärke in der Pflanze auf diesem Wege leicht erklärt.

Diese Möglichkeiten waren bis vor kurzer Zeit lediglich Hypothese und weiter nichts. Erst durch die Arbeiten Willstätters und Stolls haben sie festen Fuß erlangt. Sie gehen davon aus, daß sich das absorbierte Licht im Chlorophyllmolekül selbst chemisch betätigt, indem die aufgenommene Energie eine Verschiebung der Valenzen im CO_2-Molekül hervorruft, was eine Umgruppierung der Atome zur Folge haben soll. Denkbar sind dabei die Entstehung von erstens der sog. Perameisensäure


(Ameisensäure $H \cdot COOH$)

und zweitens des Formaldehydperoxyds


(Formaldehyd $H \cdot COH$)

Es sind dies Verbindungen, die der Anzahl ihrer C, H und O-Atome nach gleich sind, aber wie wir sehen eine verschiedene Atomgruppierung besitzen. Sie unterscheiden sich vom Formaldehyd durch den Hinzutritt von 2 O-Atomen. Dieser Sauerstoff ist es nun, der abgespalten wird. Wir erkennen somit, daß das Chlorophyll letzten Endes einen lichtchemischen Vorgang auslöst, indem es gewissermaßen als ein Überträger und Umwandler der Lichtenergie fungiert, worauf auch schon an früherer Stelle hingewiesen wurde.

---

[1]) A. v. Bayer, Ber. D. chem. Ges. 3, 1870, S. 63.

Wenn wir demzufolge das Licht als einen der wesentlichsten Faktoren für das Zustandekommen der Assimilation ansehen müssen, so fragt es sich, was aus der Pflanze wird, wenn man ihr das Licht entzieht? Geht sie dann zugrunde, da die Annahme nahe liegt, daß sie unter derartigen Verhältnissen keine Assimilation vollführen kann, bezw. in ihrer Ernährung empfindlich gestört wird? Wir können diese Frage wieder am besten an Hand eines Experimentes entscheiden, indem wir eine Pflanze, und zwar eignen sich für diesen Zweck besonders gut Erbsen oder Bohnen, im normalen Zustande des vollen Lichtgenusses und gleichzeitig an einem halbdunklen Orte und drittens unter völligem Abschluß von Licht, aber sonst unter gleichen Bedingungen der Nährstoffzufuhr aufwachsen lassen und die dadurch eingetretenen Veränderungen feststellen. Bei der Betrachtung derartig gezogener Erbsenpflanzen fällt uns, ganz abgesehen von der äußeren Formveränderung der im mangelnden und besonders im fehlenden Licht gewachsenen Pflanzen, die bleiche, fast weiße Farbe derselben auf. Langgezogene, bleiche und schlaffe Ranken mit nur spärlichem Blattansatz haben sich herausgebildet, die kaum noch eine Ähnlichkeit mit der normalen Pflanze dartun. Diese eigenartige Formentwicklung ist nun aber nicht als verursacht durch eine etwa aufgehobene Assimilation anzusehen, sondern erweist sich als eine Folge der beim mehr oder weniger verminderten Luftabschluß verzögerten Transpiration. Denn es hat sich gezeigt, daß die Formveränderung auch bei nicht grünen Pflanzen in Erscheinung tritt und sich bei grünen Pflanzen auch dann nicht einstellt, wenn die Assimilation infolge des Fehlens von CO_2 unterbunden wird. Diese abnorme Entwicklung in der Gestalt müssen wir aber als ein Merkmal wichtiger Veränderungen in den Ernährungsbedingungen der Pflanze ansehen, worauf wir sogleich zurückzukommen haben werden.

Die Notwendigkeit des Lichtes für das Ergrünen der Pflanzen ist eine längst bekannte Tatsache, die sich aufs deutlichste durch unser Experiment wiedergibt. Es zeigt dasselbe für die nur im Halbdunkel gezogenen Pflanzen, daß selbst noch eine geringe Lichtquelle etwas Chlorophyll zu erzeugen vermag, aber doch nicht genügend, um ein normales Wachstum zu ermöglichen. Blaßgrün ist daher auch hier die Farbe der Pflanze. Jedoch nicht sämtliche Pflanzen verhalten sich dem Licht gegenüber derartig, eine ganze Anzahl von Nadelhölzern besitzt die Fähigkeit auch im Dunkeln Chlorophyll zu bilden, desgl. einige Farnkräuter, Moose und Algen. Unter Rücksichtnahme auf die Entfärbung der unter Lichtentzug gezogenen Pflanzen spricht man von bleichsüchtigen oder etiolierten Pflanzen.

Diesen äußeren Merkmalen gegenüber macht sich aber noch ein innerer Unterschied zwischen normaler und etiolierter Pflanze ganz besonders geltend, worauf wir vom ernährungsphysiologischen Standpunkt

besonders hinweisen müssen. Während nämlich die im vollen Lichtgenuß, also normal aufgewachsene Pflanze eine Vermehrung ihrer organischen Substanz erfahren hat, ist bei der etiolierten Pflanze das Gegenteil hiervon nachzuweisen. D. h. eine Bildung von organischer Masse hat nicht stattgefunden, denn ihr Gewicht ist geringer als das ihres Samens. Zieht man in Rücksicht, daß alle Pflanzen neben der Assimilation auch noch einen anderen Vorgang, nämlich den der Atmung, mit dem ein Substanzverlust verbunden ist, unterhalten, so vermögen wir erst die ganze Tragweite obigen Verhaltens zu ermessen. Die in der Assimilation von organischer Substanz behinderte oder gestörte Pflanze wird also ebenso wie der in den Hungerzustand versetzte tierische Organismus zugrunde gehen. Da die etiolierte Pflanze infolge einer mangelhaften Chlorophyllbildung, einer mangelhaften Ausnutzung der chemische Arbeit leistenden Energie und schließlich infolge des Atmungsvorganges keine organische Substanz erzeugen kann, so vermag sie nicht mehr den Sinn des Pflanzenlebens, d. i. eben die Produktion organischer Pflanzenmasse, zu erfüllen, und geht daher auch schließlich, wenn der Hungerzustand zu lange dauert, ein.

Wir dürfen nun aber nicht den Zustand der Etiolierung mit dem der schon früher erwähnten Chlorose verwechseln, denn wenn es sich auch in beiden Fällen um eine Ernährungsstörung handelt, so hat dieselbe doch, wie wir zugeben müssen, recht verschiedene Ursachen. Für praktische Zwecke sei anschließend erwähnt, daß die etiolierten Pflanzen weit weniger denn normale zum Verholzen neigen, so daß man diese Eigenschaft z. B. benutzt, um ein zarteres Gemüse zu erhalten. Aus diesem Grunde werden denn auch die Köpfe des Endiviensalates zusammengebunden, da auf diese Weise der Zutritt des Lichtes verhindert wird. Auch liefern die Spargel ein gutes Beispiel, insofern als sie als unterirdische Sprosse stark etioliert sind.

b) Die Entstehung und Wanderung der Kohlehydrate

Erinnern wir uns der Darlegungen über die chemische Zusammensetzung der organischen Pflanzenbestandteile, so dürfen wir im allgemeinen wohl sagen, daß keine allzu großen Unterschiede in der elementaren Zusammensetzung der Stärke, der Zucker und Zellulose bestehen, ja selbst die Fette erweisen sich in dieser Beziehung den Erstgenannten als sehr nahe stehend. Ein Übergang der einen Stoffgruppe in die andere erscheint uns daher von chemischen Gesichtspunkten aus als leicht verständlich. In der Tat bilden denn auch Stärke und Zuckerarten die Ausgangsmaterialien für diese Umwandlungsvorgänge, und zwar nicht nur für die Entstehung aller übrigen Kohlehydrate, sondern auch der Fette und selbst der organischen Säuren sowie der sonstigen

nur aus C, H und O aufgebauten Verbindungen. Bevor wir jedoch dieser Beziehungen gedenken können, erübrigt es sich auf den Vorgang der Stoffwanderung selbst einzugehen, denn die neu gebildeten Kohlehydrate verbleiben nicht an Ort und Stelle ihrer Entstehung, sondern müssen, wie wohl leicht ersichtlich ist, von dort ständig an die Stellen des jeweiligen Verbrauchs geschafft werden, d. h. sie wandern, um die ihnen zufallenden ernährungsphysiologischen Aufgaben zu erfüllen. Eine solche Wanderung hat aber von Zelle zu Zelle zu erfolgen.

Nun kann aber die Stärke als solche wegen ihrer Unlöslichkeit in Wasser nicht durch die Zellwandungen hindurch, sondern muß erst in einen löslichen Zustand mit Hilfe der Zellflüssigkeiten versetzt werden. Als der Stärke am nächsten stehende wasserlösliche Substanzen kommen aber die Zucker in Betracht. Jedoch die aus Zellstoff bestehenden Zellwandungen sind durchaus nicht leicht, auch nicht einmal für Zucker leicht, durchdringbar, denn sie sind äußerst feinporige Gebilde, und es vermittelt daher ein ganz besonderer Vorgang den Durchgang der gelösten Stoffe von einer zur anderen Zelle. Dieser Vorgang heißt Osmose, doch spricht man von ihm fälschlich recht häufig als von einer Diffusion. Demgegenüber sei aber betont, daß von einem Diffusionsvorgang nur dann die Rede sein kann, wenn sich zwei Gase oder Flüssigkeiten unmittelbar durchdringen und dabei vermischen, d. h. zerstreuen, während es sich bei der Osmose um den Durchgang eines gelösten Stoffes durch eine Scheidewand oder Membran handelt.

Dieser Vorgang ist nun äußerst wichtig, und zwar nicht nur für die Weiterleitung der organischen Substanzen im Pflanzenkörper, sondern auch für die Aufnahme und den Austritt des Wassers und der Salze durch die Zellen. Durch ihn wird auch, wenigstens zum Teil, das Wasserdurchströmungsvermögen der Pflanze geregelt, so daß wir aus allen diesen Gründen dem osmotischen Vorgang noch etwas näher treten müssen. Zum Verständnis der osmotischen Erscheinungen sei nachstehender Versuch vorausgeschickt.

Wir füllen zunächst ein größeres Glasgefäß, oder besser eine Glasschale bis zur Hälfte mit einer wässerigen Lösung von Kochsalz oder Zucker an und bringen in dieses Gefäß ein zweites, dessen Boden aus Schweinsblase oder Pergamentpapier, d. h. aus einer nur für gewisse Stoffe durchdringbaren Scheidewand, besteht, und beschicken letzteres mit einer starken Eiweißlösung. Unser Apparat stellt somit gewissermaßen zwei Zellen dar, die durch eine Zellwand voneinander geschieden sind. Während aber die untere Zelle Zucker- oder Kochsalzlösung führt, enthält die obere Eiweiß, und wir werden uns zu fragen haben, wie sich die beiden durch eine Membran getrennten Flüssigkeiten zueinander verhalten bezw. wie sie aufeinander wirken.

Die Beobachtung lehrt, daß die obere oder innere Zelle alsbald ihren Inhalt merkbar vermehrt, indem sie von der äußeren Zellflüssigkeit aufnimmt. Dies kann aber nur deshalb geschehen, weil das Wasser der letzteren mit der gelösten Substanz durch die Zellwand hindurchzuwandern vermag, nicht aber umgekehrt das Eiweiß eine derartige Wanderung vornehmen kann. Die Ursachen hierfür haben wir in der grundverschiedenen Natur beider Substanzen zu erblicken, denn während das Eiweiß ein kolloider Körper ist, dessen Molekül zu groß ist, um durch die Poren der Scheidewand hindurchzugehen, oder eigentlich vielmehr, weil das Eiweiß im wahren Sinne überhaupt nicht gelöst erscheint, ist der Inhalt der äußeren Zelle ein echt gelöster Körper, ein molekular disperses System, dem das unbegrenzte Vermögen, Membranen zu durchwandern, zukommt. Durch den Geschmack der inneren Flüssigkeit vor und nach dem Versuch können wir uns leicht von dem Durchgang des Kristalloids, Zucker oder Kochsalz, überzeugen, wie wir auch desgleichen auf rein chemischem Wege imstande sind, den Ausfall des Versuchs zu verdeutlichen.

In ähnlicher Weise wie soeben dargelegt, vollzieht sich nun auch die Stoffwanderung in den lebenden Pflanzenzellen, und wir können uns die ganze Pflanze gewissermaßen als eine aus derartigen wie den obigen „Zellen“ zusammengesetzte Röhre vorstellen und werden dann leicht die Wanderung der Stoffe innerhalb derselben verstehen. Auch die Leitung des Wassers aus den Wurzelspitzen bis in die Blattkrone hinauf geschieht in dieser Art. Jedoch ist hierzu eine nicht unbeträchtliche Arbeitsleistung erforderlich. Das von den Wurzelzellen dem Boden entnommene Wasser verdünnt den Zellinhalt, und es geben die derartig veränderten Zellen an die Nachbarzellen einen Teil des erhaltenen Wassers ab. Dieser verdünnt gleichfalls den stärkeren Zellsaft derselben, und so geht es auf dem Wege der Osmose weiter, bis das Wasser in die obersten Zellen gelangt ist, wo es aus den Spaltöffnungen gasförmig entweicht, während ein anderer Teil des Wassers zum Aufbau der verschiedensten Stoffe innerhalb der Pflanze verbraucht wird.

Da aber die Bildung der organischen Substanz gleichwie das Wachstum der Pflanze an den verschiedensten Stellen derselben geschieht und nicht nur am Orte des Eintritts der Nährstoffe, so ergibt sich daraus ohne weiteres die Notwendigkeit einer Stoffwanderung innerhalb der Pflanze. In der Tat erfolgt denn auch die Neubildung von Substanz in allen grünen Zellen, wogegen das Wachstum, d. h. die Entstehung neuer Zellen nur in den jüngsten Trieben der Pflanze stattfindet. Hierhin muß die Substanz in Form eines löslichen Kohlehydrates, wie es z. B. der Zucker ist, geschafft werden und dieser wird, indem er sich zu Zellstoff (Zellulose) umwandelt, als Material zur Bildung neuer Zellen verbraucht. Auch die Wanderung des Zuckers läßt sich durch Osmose erklären, denn wir haben ja den Zucker als durchgangs-

fähig für Membranen erkannt, im Gegensatz zu der kolloiden Stärke. Er wird daher von seiner Bildungsstätte, die reich daran ist, an die nächsten Zellen abgegeben, und könnte man annehmen, daß es auch hier so weiter geht, bis alle Zellen einen nahezu gleichen Gehalt an Zucker dartun müßten. Hierzu kommt es aber nicht, denn stets wird in einer jeden Zelle, die der Zucker bei seiner Wanderung berührt, ein Teil von ihm zur Bildung von Stärke oder Zellulose oder auch Fett verbraucht. Dieser Vorgang muß aber ununterbrochen verlaufen, da bei jeder Umwandlung unlösliche Körper im Zellsaft entstehen, und der Zucker zu den Stellen des Verbrauchs strömt.

Aber nicht nur bei der Neubildung und beim Wachstum der Zellen finden die umgewandelten Stoffe Verwendung, es ist auch die Pflanze bestrebt, solche zu sammeln und anzuhäufen, um sie bei geeigneter Gelegenheit nutzbringend zu verwenden. Solche Zeiten des Gebrauchs der aufgespeicherten Stoffe sind die des Keimens, so daß gerade die Samen eine größere Menge von Reserve- oder Vorratsstoffen enthalten. Doch auch in den mehrjährigen, perennierenden, Gewächsen lagern sich vor dem herbstlichen Absterben in den Stämmen, Stengeln und Wurzeln organische Substanzmassen ab, die in Gestalt von Stärke, Zucker oder auch Fett im Frühjahr Benutzung finden. Der bekannte reichliche Gehalt der Birken, Ahorne und vieler anderer Gewächse an Zucker zu dieser Zeit gibt uns unmittelbar eine Vorstellung davon.

Jedenfalls ergibt sich aus alledem, daß wir die Wanderung des Stärkemehls von Zelle zu Zelle nur durch die Annahme einer vorherigen Überführung in einen leichtlöslichen, zuckerartigen Stoff erklären können. Doch erkannten wir schon, daß dies nicht die einzige Umwandlungsmöglichkeit der Stärke bezw. des Stärkemehls innerhalb der Pflanze ist, sondern auch eine Überführung in Zellulose stattfindet und diese umgekehrt wieder im Zellsaft gelöst gleichfalls zum Aufbau der jungen Zellen dienen kann. Immer ist aber das Wasser an allen Umwandlungen beteiligt, und fermentartige Stoffe sorgen für das Zustandekommen dieser Vorgänge. Schließlich weisen auch die Erscheinungen des Keimungsversuches, wie er gewöhnlich für die landwirtschaftliche Praxis ausgeführt wird, auf eine beträchtliche Zunahme von Zucker und Zellulose auf Kosten des Stärkemehls und der fetten Öle hin. Bei all den Umwandlungsvorgängen der Stärke in Zucker oder umgekehrt des Zuckers in Stärke in der Pflanze sowie der Erzeugung der verschiedenartigsten Zuckerarten spielen alle jene chemischen Reaktionen, die wir bei der Besprechung der Polysaccharide, Monosaccharide usw. kennen gelernt haben, eine Rolle, so daß uns diese Vorgänge immerhin recht verständlich werden. Auch die Enzymwirkungen auf Stärke, wie z. B. die der Diastase, ferner die Fermente des tierischen Speichels oder des Pankreassaftes gewähren uns einen Einblick in diese Verhältnisse.

Über die Wanderung der sonstigen, gleichfalls stickstoffreien Stoffe in der Pflanze wissen wir nur sehr wenig, doch stehen sie mit dem Stärkemehl in irgendwelchem Zusammenhang.

Im allgemeinen müssen wir in Bezug auf die in Rede stehenden Kohlehydrate daran festhalten, daß die Stärke in den meisten Fällen die Muttersubstanz der Zuckerarten darstellt, wenn wir davon absehen, daß bei der Kohlenstoffassimilation die Zucker wahrscheinlich schon vor der Stärke zur Bildung gelangen. Durch Anlagerung von Wasser an Stärke erfolgt Bildung von Traubenzucker und dieser lagert sich vermutlich zum Teil in Fruchtzucker um. Aus dem Gemisch dieser beiden Zuckerarten, die in der Natur auch fast stets gemeinsam vorkommen, kann dann unter Wasserentziehung Rohrzucker gebildet werden. So geht denn auf diese Weise z. B. in den bekannten zuckerführenden Pflanzen, wie Zuckerrübe und Zuckerrohr, die Zuckerbildung vor sich. Die Maltose entsteht durch Einwirkung der Diastase auf das Stärkemehl.

Durch letztere Beispiele sei nochmals auf die vielen, einfachen und verwickelten Vorgänge der Wechselbeziehungen zwischen Stärke und Zucker in der Pflanze hingewiesen. Wobei immer wieder betont werden muß, daß sich die Pflanze sehr einfacher chemischer Methoden, wie die der Wasseranlagerung und -abspaltung bedient, um alle jene Körper hervorgehen zu lassen. Hierauf ist aber schon früher genügend Rücksicht genommen worden, so daß ein weiteres Verweilen dabei überflüssig erscheint. Vielleicht sei nur noch darauf aufmerksam gemacht, daß u. a. auch die vielfach erwähnte Cyanhydrinreaktion für den Übergang kohlenstoffärmerer in kohlenstoffreichere Zucker in der lebenden Pflanze von größter Bedeutung sein dürfte. Damit wollen wir das Gebiet der Kohlehydrate verlassen, um uns einer anderen, gleichfalls überaus wichtigen Gruppe organischer, und zwar ebenfalls noch stickstoffreier Substanz, nämlich der Fette in ihrer Entstehung in der Pflanze, zuzuwenden.

c) Die Bildung der Fette und ihrer Verwandten

Viel verwickelter gestalten sich schon die Verhältnisse für die Entstehung der Fette im Pflanzenkörper, auch sind unsere Kenntnisse über diesen Vorgang viel mangelhafter, und es gilt daher hier, was anfangs unserer Ausführungen schon betont werden mußte, nämlich, daß wir uns nunmehr nicht mehr ganz auf dem Boden reiner Tatsachen befinden, sondern vielfach hypothetische Erklärungsweisen heranziehen müssen, um den Gang der Geschehnisse zu begreifen.

Es sprechen eine Reihe hier nicht zu erörternder Beobachtungen dafür, daß die Fette durch Umwandlung der Kohlehydrate, vor allem der Stärke und der Glukose, sich bilden können, und wir haben ja auch schon vernommen, daß in allen ölreichen Samen neben Fett ständig

Stärke zugegen ist, letztere aber mit Zunahme des Fettes verschwindet. Andererseits kommen aber auch wohl z. T. Eiweißkörper als Ausgangssubstanzen in Frage. Schließlich wäre es auch denkbar, daß die Fette bei der Kohlehydratsynthese als unmittelbare Assimilationsprodukte zur Entstehung gelangen. Ein wirkliches Verständnis für die Bildungsmöglichkeiten können wir jedoch nur dann erwerben, wenn wir uns streng an die chemische Zusammensetzung unserer Körperklasse halten. Wir wissen, daß Glyzerin und Fettsäuren die Komponenten der einfachen Fette sind, und haben dementsprechend hiervon auszugehen.

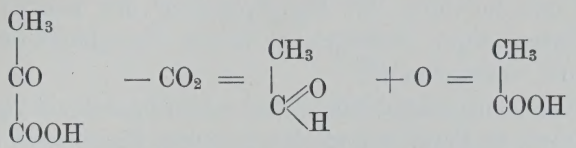
Das Zustandekommen des Glyzerins kann keine Schwierigkeiten bereiten, denn chemisch ist es den Kohlehydraten so nahe verwandt, daß eine Umwandlung oder Verwandlung dieser Körper nach der einen oder anderen Seite der Pflanze leicht fallen dürfte. Wir brauchen nur das Glyzerin mit der Glyzerose zu vergleichen und uns vor Augen zu halten, daß Oxydations- und Reduktionsvorgänge ihre gegenseitige Überführung leicht ermöglichen, um die Entstehung des einen Fettkomponenten aus dem bei der Kohlenstoffassimilation gebildeten Zucker (Glyzerose) ohne weiteres zuzugeben. Für den Vollzug eines derartigen Vorgangs im tierischen Organismus wäre jedenfalls anzuführen, daß Glyzerose in Gegenwart von Lebersubstanz in Glyzerin übergeht.

Viel weniger sind wir über die Entstehungsbedingungen der anderen Fettkomponente, d. h. der organischen Säuren, unterrichtet. Auch hier müssen wir die Möglichkeit ihrer Entstehung schon bei der Assimilation von CO_2 und H_2O als auch durch Oxydation der Kohlehydrate infolge der Aufnahme von O und Abgabe von H_2O zugeben, auch wissen wir, daß eine Umformung der Kohlehydrate in Fettsäuren von Pflanzen- und Tierzellen vollzogen wird. Wir sehen ja u. a. in den kohlehydratführenden Samen der Pflanze die Kohlehydrate mit der Zeit verschwinden, um dem sich bildenden Fett Platz zu machen. Aber auch der entgegengesetzte Vorgang vollzieht sich, d. h. aus Fett entsteht Kohlehydrat. Vor allen Dingen speichert der Tierorganismus Kohlehydrate in Form von Fett auf. An sich ist es daher völlig denkbar, daß die Bestandteile der Fette bei der Kohlenstoffassimilation unter Bildung von Kohlehydraten als Zwischenkörper zustande kommen. Gehen wir z. B. bei dieser Synthese von der Glukose als Kohlehydrat aus, so erscheint es zulässig, daß durch Vereinigung dreier Moleküle derselben und nachfolgender Reduktion Stearinsäure hervorgeht.

$$3\,C_6H_{12}O_6 + 16\,H_2 = C_{18}H_{36}O_2 + 16\,H_2O.$$

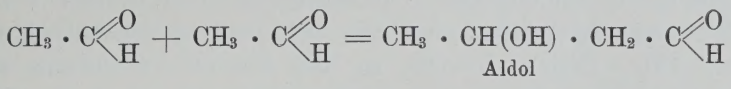
Jedoch ist eher anzunehmen, daß zuvörderst die Kohlehydrate in einfachere Körper zerlegt werden. Wichtige Substanzen unter den Abbauprodukten der Glukose sind die Milchsäure (Oxypropionsäure $= C_2H_4(OH)\cdot COOH$), das Methylglyoxal ($CH_3\cdot CO\cdot COH$) und die Brenztraubensäure ($CH_3\cdot CO\cdot COOH$). Aus der letzteren kann sich aber

durch Abspaltung von CO_2 leicht Azetaldehyd ($CH_3 \cdot COH$) bilden und aus diesem durch Oxydation die zugehörige Säure



Brenztraubensäure — Azetaldehyd — Essigsäure

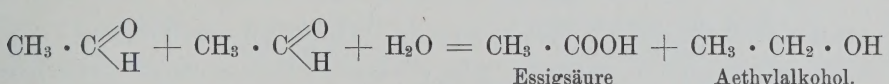
Eine weitere Reaktion, die uns den gewünschten Übergang verständlich erscheinen läßt, ist die bekannte Aldolbildung aus zwei Molekülen Azetaldehyd und Umwandlung des Aldols in Buttersäure, denn auch auf diese Weise kann die Säurekomponente der Fette ihre Entstehung nehmen.



Aldol

Aldol — Buttersäure

Schließlich leistet uns die Reaktion nach Cannizzaro willkommene Dienste. Sie ist für uns insofern von ganz besonderer Bedeutung, als es gerade die Aldehyde sind, die bei der C-Assimilation zur Bildung gelangen und die bekanntermaßen an und für sich so überaus reaktionsfähige Körper sind, so daß sie infolgedessen als Zwischenkörper eine hervorragende Rolle spielen. Nach dieser Reaktion gehen bekanntlich zwei Moleküle Aldehyd unter Hinzutritt von Wasser in je ein Molekül der zugehörigen Säure und des Alkohols über. Oxydation und Reduktion vereinigen sich hier in einer einzigen Reaktion, die ihren Ausdruck durch nachstehende Gleichung findet:



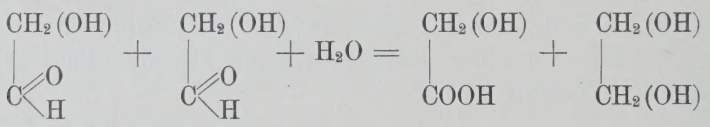
Essigsäure — Aethylalkohol.

Welchen von den angedeuteten Wegen die Pflanze einschlägt, das wissen wir nicht, jedoch erkennen wir auch hier wieder aus den mitgeteilten Angaben, daß recht einfache Reaktionen, deren Zustandekommen in der Pflanze kaum Schwierigkeiten bereiten dürfte, zum Ziele führen. Fassen wir aber kurz das Gesagte über die Bildungsmöglichkeiten der Fette zusammen, so müssen wir prinzipiell die Entstehung der Bausteine der Fette als einerseits durch einen sekundären Umbau von nahestehenden Verbindungen, nämlich den Kohlehydraten, andererseits als primäre Produkte der Kohlenstoffassimilation ansehen. Was aber für die Fette gilt, das gilt auch allgemein für die Harze, da beide Körperklassen chemisch so nahe stehen, nur hinsichtlich der Phosphatide

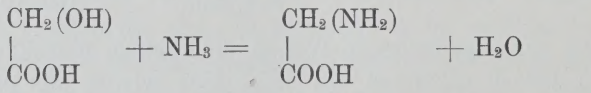
werden wir infolge ihres komplizierteren Aufbaus noch weitere Bausteine in Rücksicht zu ziehen haben. Zu diesem Zwecke müssen wir uns erinnern, daß das Lezithin, der Hauptvertreter der ganzen Gruppe, als ein Fett, dessen eines Säureradikal durch Phosphorsäure und Cholin vertreten wird, anzusehen ist.

Von der Phosphorsäure haben wir erfahren, daß sie von der Pflanze durch die Wurzel in Form von allerlei löslichen Phosphaten aufgenommen wird, und wir müssen annehmen, daß sich die Phosphorsäure zu irgend einer Zeit mit dem neugebildeten Fett in der Pflanze verbindet. Aber auch das Cholin, jene uns von früher her bekannte stickstoffhaltige Base, will ihrer Entstehung nach in der Pflanze erklärt sein. Hinsichtlich der Bildung stickstoffhaltiger Bestandteile der Pflanze werden wir gelegentlich der Synthese der Eiweißkörper hierauf eingehend zurückkommen. Dort gilt es der Bildung der Aminosäuren näher zu treten. Nun entsteht aber beim hydrolytischen Abbau des Lezithins der Aminoaethylalkohol $CH_2 \cdot (NH_2) \cdot CH_2OH$, so daß wir diese Substanz unseren früheren Erfahrungen nach wohl als Baustein des Cholins bezw. Lezithins gelten lassen dürfen.

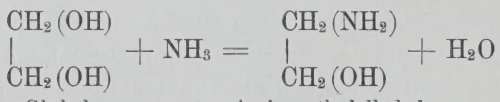
Es steht uns daher ein Weg offen, ganz analog der Bildung von Alkohol und Säuren aus zwei Molekülen Aldehyd nach Cannizzaro, sich zwei Moleküle Glykolaldehyd zur zugehörigen Säure und Alkohol umwandeln zu lassen, welche Substanzen mit dem bei der Stickstoffassimilation gebildeten Ammoniak zu Aminoessigsäure und Aminoaethylalkohol zusammentreten könnten. Nachstehende Gleichungen veranschaulichen uns diesen Vorgang:



Zwei Mol. Glykolaldehyd = Oxyacetaldehyd — Glykolsäure oder Oxyessigsäure — Glykol

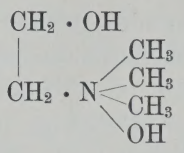


Glykolsäure — Glykokoll oder Aminoessigsäure



Glykol — Aminoaethylalkahol.

Die Aminoessigsäure ist aber als Aminosäure, wie wir wissen, ein häufiger Bestandteil der Protein- oder Eiweißsubstanzen, während der Aminoaethylalkohol durch vollständige Methylierung in unser Cholin überführt werden kann.



Daß wir es aber auch hier nur mit Möglichkeiten, die vom chemischen Standpunkte allerdings viel Wahrscheinlichkeit besitzen, zu tun haben, braucht nach den früheren diesbezüglichen Hinweisen wohl nicht noch besonders hervorgehoben zu werden. So könnte gleich gut Glykolaldedyd mit Ammoniak Aminoacetaldehyd liefern und dieser nach Cannizzaro in Aminoessigsäure und Aminoaethylalkohol übergehen.

Bezüglich der Entstehung der sonstigen Phosphatide, der Sterine sowie der diesen fettartigen Substanzen nahestehenden Verbindungen komplizierteren Aufbaus vermögen wir schon aus dem Grunde nichts Bestimmtes mitzuteilen, weil ihre chemische Zusammensetzung z. T. noch viel zu ungenügend bekannt ist.

Da die Organe des pflanzlichen Stoffwechsels keine oder doch nur geringe Möglichkeiten des Aufhäufens von Fett bieten, so treffen wir dasselbe auch nur in den Früchten, Samen und Knollen an. Auch kann die Pflanze genau so wie das Tier ein Fett in ein anderes umwandeln oder in seine Bestandteile zerlegen. Einen solchen Abbau in die beiden Komponenten Glyzerin und Fettsäuren hat man auch in fettreichen Samen beobachtet. Desgleichen vermag das Fett durch das Ferment Lipase in ein Kohlehydrat überführt zu werden, wobei die soeben erwähnte Aufspaltung voraufgeht bezw. durch die Lipase erfolgt. Selbst wanderungsfähig wird das Fett nach eingetretener Aufspaltung.

d) Die Pflanzensäuren und die Atmung

Schon oftmals hatten wir Gelegenheit darauf aufmerksam zu machen, daß auch Säuren im freien Zustande oder gebunden in Gestalt von Salzen in den Säften und Geweben, und zwar im letzteren Falle eingelagert, vorkommen. Wir haben uns aber aus rein didaktischen Gründen bei der Besprechung der hauptsächlichsten Bausteine des Pflanzenkörpers mit ihnen kaum beschäftigt, um nicht das Gesamtbild in seinen Hauptzügen allzusehr zu stören. Im Anschluß an die Entstehungsbedingungen der Fettsäureanteile der Fette erscheint es jedoch angebracht, das Versäumte nachzuholen.

Ausgehend von den Erscheinungen bei den reifenden Früchten, hat man früher viel Gewicht darauf gelegt, daß anfangs dieses Vorganges die Pflanzensäuren vorherrschen, während die Kohlehydrate (Zucker) mit dem Reifungsprozeß zunehmend anwachsen, so daß daraus ein allmählicher Übergang der Säuren in den sauerstoffärmeren Zucker infolge

einer stattgefundenen Reduktion gefolgert wurde. Es ist jedoch zu bedenken, ob die relative Zuckeranreicherung nicht auch durch zugeführte Kohlehydrate verursacht wird, wie überhaupt die Abnahme der Säure auch sehr wohl mit einer Absättigung freier Säuren durch basische Substanzen in Verbindung stehen kann. Spätere Untersuchungen haben denn auch derartige Bildungsmöglichkeiten als viel wahrscheinlicher hingestellt. Andererseits werden die in der Pflanze vorhandenen Säuren ihrer Herkunft nach in der Regel als Produkte eines Oxydationsvorganges, von dem sogleich die Rede sein wird, angesehen, obschon die Säurebildung auch gelegentlich auf dem Wege der Synthese und noch etwas häufiger durch hydrolytische Spaltung der Fette und von Eiweiß erfolgen kann.

Als hochoxydierte Pflanzensäuren finden wir, abgesehen von einer größeren Anzahl seltener Säuren, vornehmlich die Oxalsäure, Ameisensäure, Äpfelsäure, Wein- und Traubensäure sowie Zitronensäure in der Pflanze vor. Die am häufigsten von allen Säuren vorkommende ist aber wohl die Oxalsäure. Sehr reich daran ist der Sauerklee *(Oxalis acetosella)*, von dem auch die Bezeichnung Kleesäure herstammt, und dann der Sauerampfer *(Rumex)*. Hier liegt die Säure in Verbindung mit Kalium als saures Salz KHC_2O_4 vor. Als Dikarbonsäure (COOH · COOH) ist sie eine sehr starke organische Säure, und es fallen ihr infolgedessen sehr wichtige Funktionen in der Pflanze zu, wie z. B. die Zerlegung anorganischer Salze schwächerer Säuren, aber auch der Salpetersäure. Im freien Zustande findet sie sich nur selten. Außer mit dem schon erwähnten Kalium ist sie mit Kalzium sehr häufig verbunden. Das schwerlösliche Kalziumsalz häuft sich dann recht oft zu Kristalldrusen in den Zellen aller möglichen Pflanzenteile an. Sie ist als ein ureigentliches Endprodukt des pflanzlichen Stoffwechsels anzusehen. Aber noch in anderer Hinsicht erweist sie sich für uns von großer Bedeutung, nämlich insofern, als die Wurzelzellen in ihrem Saft Säuren, und zwar gerade zumeist Oxalsäure, enthalten, die auf die im Boden vorhandenen schwerlöslichen Nährstoffe lösend einwirken und damit der Aufnahme in die Pflanze zuführen.

Von der Ameisensäure — H · COOH — sei nur erwähnt, daß sie in den Urticaceen sowie in den Nadeln der Kiefern und Fichten etwas reichlicher auftritt, dann aber ebenso, wie die Oxalsäure, an der Zusammensetzung der Wurzelsäuren beteiligt ist. Die Äpfel- oder Oxybernsteinsäure ist dagegen weit häufiger im Pflanzenreich verbreitet, und zwar nicht nur in den unreifen Äpfeln als saures Salz, sondern auch noch in vielen anderen Früchten. Sie ist eine zweibasische Oxysäure von der Formel CH_2 · COOH · CH(OH)COOH, die beim Reifungsvorgang des Obstes eine große Rolle spielt, indem sie in Weinsäure bezw. deren Salze übergeht. Auch Wein- und Traubensäure sind außerordentlich

häufig, aber entweder im freien Zustande oder als Kalium- oder Kalziumsalz, anzutreffen. Besonders tritt das saure Kaliumsalz $\begin{matrix} CH(OH)COOH \\ | \\ CH(OH)COOK \end{matrix}$ das sogenannte saure Tartrat des Kaliums, auch Weinstein genannt, auf. Schließlich ist die Zitronensäure eine dreibasische Monooxysäure von der Formel

$$\begin{matrix} CH_2 \cdot COOH \\ | \\ C(OH)COOH \\ | \\ CH_2 \cdot COOH. \end{matrix}$$

Sie vermag infolgedessen gleichfalls saure Salze zu bilden, die sich zur Hauptsache in den Pflanzensäften vorfinden. Im freien Zustande ist sie nicht nur in den Zitronen, sondern auch in zahlreichen genießbaren Beerenfrüchten, in der Runkelrübe, den Eicheln sowie in den Zwiebeln, Knollen und manchen Blättern sowie ungekeimten Samen vorhanden. Da sie in ihren sauren Salzen auch viel in den unterirdischen Teilen der Pflanze auftritt, so dürfte sie gleichfalls bei der Aufnahme und Löslichmachung basischer Bestandteile aus dem Boden in Frage kommen.

Wir haben schon häufiger von Oxydationsvorgängen in der Pflanze gesprochen, aber andererseits doch stets betont und hervorgehoben, daß es sich in den Ernährungs- und Produktionsverhältnissen derselben um einen Reduktionsprozeß handelt. Vollziehen sich erstere also wirklich in der Pflanze, so stehen sie sicherlich im Gegensatz zum Assimilationsprozeß und bedürfen einer besonderen Erklärung.

Wir können zunächst darauf hinweisen, daß der Assimilationsvorgang, nämlich die Erzeugung organischer Substanz aus CO_2 und H_2O unter Austritt von O nicht der einzige Prozeß im Leben der Pflanze ist, sondern daß auch diese genau so wie das Tier Sauerstoff einatmet und dafür CO_2 austauscht. Allerdings steht dieser Vorgang nicht im Vordergrund des Geschehens, wie es beim Tier der Fall ist, das zur Erhaltung seines Lebens vor allen Dingen des Sauerstoffs bedarf. Jedoch bei näherer Betrachtung verliert dieser Gegensatz an Schärfe, denn auch das Pflanzenleben ist ohne Sauerstoffaufnahme nicht möglich. Mit einem solchen Vorgang, den wir auch als Atmung zu bezeichnen pflegen, ist aber ständig ein Verlust an Substanz verknüpft, und so gibt denn auch die am Tage bezw. während einer ganzen Vegetationsperiode von der Pflanze produzierte Masse keinen wahren Anhalt für die Größe der durch Assimilation erzeugten Substanz. Diese erweist sich in Wahrheit als weit erheblicher, weil der gefundenen Erntesubstanz noch die durch die Atmung in Verlust geratene Pflanzenmasse hinzuzurechnen ist. Von diesem Gesichtspunkt aus erscheint uns die Leistung der Pflanze ungleich

höher, als es nach dem bisher Mitgeteilten über die organische Substanzerzeugung der Fall ist.

Da nun aber, wie wir immer betonen mußten, der Sinn des Pflanzenlebens gewissermaßen die Erzeugung organischer Substanz ist, so drängt sich uns naturgemäß die Frage nach Zweck und Notwendigkeit der Pflanzenatmung auf, einem Vorgange, der der Hauptaufgabe des Pflanzenorganismus entgegenläuft. Hierauf ist zunächst zu erwidern, daß dieser Vorgang durchaus notwendig ist, denn ohne Atmung tritt auch für die Pflanze der Erstickungstod ein. Doch damit können wir uns nicht begnügen. Wir möchten auch den physiologischen Prozeß kennen lernen, der durch die Gegenwart von Sauerstoff unterhalten, durch sein Fehlen verhindert wird.

Die vornehmsten Äußerungen der Lebenstätigkeit der Pflanze bestehen in der Bewegung des Protoplasmas. Wir sprechen geradezu von Protoplasma-Strömungen, und diese stehen im engsten Zusammenhang einerseits mit Sauerstoffzutritt als Voraussetzung, andererseits mit allen sonstigen wichtigen Lebenserscheinungen als Folge. So sind von der Protoplasmabewegung abhängig: das Wachstum der Pflanze in Gestalt von Zellteilung und Zellbildung, der Transport der Nährstoffe von Zelle zu Zelle, die Keimung, wie überhaupt der ganze Vegetationsprozeß. Die Bewegung des Protoplasmas und dementsprechend ihre Folgeerscheinungen hören aber auf, wenn der Sauerstoff fehlt. Da ferner erkannt wurde, daß Pflanzenorgane mit an Protoplasma reichen Zellen auch reichlich CO_2 abgeben und dabei Wärme erzeugt wird, so zeigt sich eine vollständige Übereinstimmung mit der tierischen Atmung. Beachtenswert erscheint, daß es sich bei der Aufnahme von Sauerstoff nicht wie bisher um eine Verbindung, sondern um ein Element handelt, und daß diesem im Gegensatz zu den in gebundener Form aufgenommenen Elementen die Förderung des Energiegewinns zufällt, während letztere lediglich zur Bildung (Synthese) neuer chemischer Verbindungen in der Pflanze dienen. Wir können den Gegensatz beider Vorgänge nicht nur sehr deutlich durch die Gegenüberstellung der Assimilations- und Atmungsgleichung wiedergeben, sondern auch durch den Hinweis zum Ausdruck bringen, daß der letztere die treffende Benennung Dissimilation erhalten hat.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6\,CO_2 + 6\,H_2O + 674\text{ Cal.}$$
$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + 674\text{ Cal.} = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2.$$

Energiegewinn und Energieverlust stehen sich in beiden Vorgängen in gleicher Höhe gegenüber und bestätigen aufs deutlichste die oben dargelegten Ausführungen.

Th. de Saussure war es, der als erster schon am Ende des 18. Jahrhunderts die Pflanzenatmung richtig erkannt und durch klassische

Versuche nachgewiesen hat. Seinen Hauptversuch, der den Nachweis erbrachte, daß die Pflanze ohne Sauerstoff nicht leben und gedeihen kann, dürfen wir nicht unberücksichtigt lassen, zumal er uns in sinnreichster Weise die Ausschaltung der bei einem derartigen Experiment auftretenden Schwierigkeiten vor Augen führt. Der Nachweis von der Aufnahme des Sauerstoffs konnte natürlicherweise nur unter Ausschaltung der Assimilation erbracht werden, denn diese würde die Atmung nicht nur verdeckt haben, sondern es hätte auch die dabei auftretende Sauerstoffausscheidung die günstigen Bedingungen für den Atmungsprozeß erzeugt. Diese Schwierigkeiten überwand der Genannte aber dadurch, daß er der Pflanze alle produzierte Kohlensäure durch Hinzugabe von Ätzkalk in den von der Pflanze eingenommenen Raum, der anstatt mit Luft mit Stickstoff erfüllt war, entzog. Der Erfolg war die uns schon bekannte Tatsache, daß die Pflanze unter derartigen Verhältnissen einging.

Diesem sich in der Pflanze vollziehenden Atmungsprozeß hat man nun bis in jüngster Zeit fast allgemein die Entstehung der organischen Säuren im Pflanzenkörper zugeschrieben. Da sich jedoch neuerdings eine Wandlung in der Auffassung vom Wesen der Pflanzenatmung, die nicht ohne einschneidenden Einfluß auf die Erklärung des Zustandekommens der organischen Säuren geblieben ist, vollzogen hat, so müssen wir noch etwas näher auf den Atmungsprozeß eingehen[1]).

Die Feststellung der zellfreien alkoholischen Gärung führte nämlich zu der Vermutung, daß auch Stoffumwandlungen der normalen Pflanzenernährung losgelöst vom lebenden Protoplasma in Erscheinung treten können. Auch gelang es W. Palladin und S. Kostytschew, einen der Sauerstoffatmung entsprechenden, durch Fermente erzeugten Gasstoffwechsel bei nichtlebenden Pflanzen nachzuweisen, und führten diese wie andere Untersuchungen zu der Ansicht eines genetischen Zusammenhangs zwischen alkoholischer Gärung oder anaerober Atmung und Sauerstoffatmung. Die sich bei dem Abschluß von Sauerstoff vollziehenden Atmungsvorgänge gewisser Mikroorganismen bezeichnet man bekanntermaßen als Gärungen, bei ihnen ist der Energiewechsel im Vergleich zur eigentlichen Atmung nur gering. Nach Kostytschew kann die Sauerstoffatmung der Pflanzen ganz wesentlich durch Hefeextrakte oder noch stärker durch von Hefen angegorene Zuckerlösungen gesteigert werden, während sie selber nichts anderes als eine langsame Verbrennung von Zucker oder ähnlichen Kohlehydraten bei niederer Temperatur darstellt. Unter gewöhnlichen Verhältnissen wird eine solche Zuckerlösung trotz genügender Luftzufuhr aber nicht verändert, wohl aber unter dem Einfluß der durch anaerobe Atmung ausgezeichneten Enzyme, und hat

[1]) Vergl. S. Kostytschew, Pflanzenatmung 1924.

L. Pasteur darzutun vermocht, daß auch verschiedene Pflanzen und selbst Pflanzenteile in sauerstoffreier Umgebung CO_2 unter gleichzeitiger Bildung von Aethylalkohol, ganz nach Art der Gärungserscheinungen, auszuscheiden imstande sind. Da nun aber Samenpflanzen und sonstige aerobe Organismen unter normalen Verhältnissen keinen Alkohol bilden, wohl aber bei Luftabschluß, so glaubt Kostytschew, daß dieser im ersten Fall durch Oxydationsvorgänge wieder zerstört wird, also das Produkt der Zymasewirkung nicht in Erscheinung tritt. Er sieht somit die anaerobe Atmung als identisch mit der Sauerstoffatmung an, insofern als die gleichen Produkte zur Bildung gelangen, von denen allerdings der Aethylalkohol vernichtet wird, denn bei aeroben Pflanzen kann dieser infolge der weiteren Oxydationswirkungen nicht erhalten bleiben. Demzufolge hält er auch die Bildung von Säuren auf dem Wege der Atmung nicht für möglich, höchstens solcher von der Natur unbeständiger Karbonsäuren. Die eigentlichen Pflanzensäuren dagegen, von denen vorher die Rede war, sieht er entweder für Umwandlungsprodukte von Aminosäuren oder von bei der Eiweißsynthese sich bildenden Zwischenprodukten an.

Besonders bei der Keimung spielt die Atmung eine hervorragende Rolle, auch hat sich gezeigt, daß die Wurzeln der Landpflanzen eine teilweise erheblichere Atmungstätigkeit als die oberirdischen Pflanzenteile ausüben, so daß daraus für uns die absolute Notwendigkeit einer guten Durchlüftung des Ackerbodens für die Pflanzenkultur hervorgeht. Desgleichen kommt den Blüten und Geschlechtsorganen eine erhöhte Atmung zu. Als intramolekulare Atmung bezeichnen wir schließlich die Erscheinung, daß abgetötete Pflanzen oder reifende Früchte noch auf Kosten des Sauerstoffs ihrer Substanz eine CO_2-Abscheidung unter gleichzeitiger Bildung von Alkohol hervorrufen. Dieser Vorgang ist, wie wir gesehen haben, bei einer Anzahl niederer Organismen mit anaerober Lebensweise eine ganz normale Lebenserscheinung, die nach unseren obigen Ausführungen ein ganz besonderes Licht auf den Atmungsprozeß der höheren Pflanzen wirft.

Ohne uns mit besonderen Einzelheiten aufhalten zu wollen, müssen wir bezüglich des Atmungsvorganges in der Pflanze ganz allgemein feststellen, daß irgend eine Kohlehydratverbindung zur Verbrennung gelangt. Aber auch Fette können in gleicher Weise veratmet werden, wie solches besonders bei der Keimung der Samen geschieht, schließlich werden auch Eiweiß wie andere stickstoffhaltige Stoffe erfaßt, wenn es auch seltener der Fall zu sein scheint. Sicher ist, daß die höhere Pflanze keine Abbauprodukte stickstoffhaltiger Substanzen zur Ausscheidung bringt, wie solches bekanntermaßen das Tier in Form von Harnstoff, Harnsäure, Hippursäure tut. Sie kann demnach im Gegensatz zum Tier die stickstoffhaltigen Endprodukte des Stoffwechsels wieder als Nähr-

stoffe verwerten. Bei Pilzen dagegen sind auch stickstoffführende Abbauprodukte, wie Harnstoff, bekannt geworden.

Jedenfalls ist aber, wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, mit der ständigen Atmung der Pflanze eine fortlaufende Verminderung der organischen Masse des Pflanzenkörpers verbunden, wodurch allerdings andererseits ein Energiegewinn bedingt ist. Die Notwendigkeit desselben für das Pflanzenleben haben wir erkannt, dürfen aber die Kraftleistung der Pflanze keinesfalls mit der des Tieres vergleichen wollen. Hier steht der Atmungsprozeß im Vordergrund des Geschehens, und es weist schon die verschiedene innere Organisation zum Zustandekommen des Vorganges bei Pflanze und Tier aufs deutlichste auf den großen Unterschied beider Reiche in genannter Beziehung hin. Beim Tier tritt bekanntermaßen der Sauerstoff durch besondere Organe in das Innere des Körpers ein, und die Atmung versorgt stets das Blut mit frischem Sauerstoff, der durch den Kreislauf des Blutes überall hingeführt wird, um in allen Teilen des Tierkörpers die notwendigen Verbrennungsvorgänge zu unterhalten. Eine derartige für den gedachten Zweck vollkommen eingerichtete Organisation besitzt die Pflanze nicht. Der Sauerstoff gelangt hier unmittelbar durch die Spaltöffnungen der Blätter oder auch zum Teil durch die Wurzel in die Pflanze und vermischt sich in ihrem Innern mit der dort vorhandenen Kohlensäure, so daß seine Wirkung schon dadurch sehr geschwächt erscheint.

Zum Assimilationsprozeß ist kein Sauerstoff zur Erzeugung von Kraft erforderlich, denn diese Energie liefert unmittelbar die Sonne in Gestalt von Licht und Wärme. Zur Erzeugung des Wärmebedarfs für die pflanzlichen Stoffwechselvorgänge ist aber lange nicht so viel Kraft wie beim Tier für den gleichen Zweck bereitzustellen, so daß mithin der Atmung der Pflanze eine weit geringere Leistung zufällt. Alles, was jedoch während der Atmung an inneren chemischen Kräften in Verlust gerät, muß letzten Endes in Form von Wärme erscheinen. Da aber, wie wir erst soeben erwähnt haben, der Pflanze nur geringe Leistungen in genannter Richtung zukommen, so sind die Wärmemengen auch nur verhältnismäßig klein und infolgedessen auch nur schwierig nachzuweisen. Jedoch in der sogen. Selbsterwärmung der keimenden Samen besitzen wir u. a. einen Vorgang, der deutlich darauf hinweist. Er spielt bei der Malzbereitung bekanntlich eine große Rolle.

Bevor wir das Kapitel über Atmung und Stoffbildung bei der Atmung schließen, möchten wir noch kurz der Tatsache gedenken, daß auch Zucker auf dem Wege der Oxydation, wie z. B. bei der Keimung fetthaltiger Samen, entstehen kann. Es ist dies insofern von besonderer Bedeutung, als es uns zeigt, daß sowohl eine und dieselbe Substanz als Assimilationsprodukt im aufbauenden als auch als Atmungsprodukt im abbauenden Stoffwechsel erscheinen kann.

e) Die Stickstoffassimilation

Wir haben zwar bei der Besprechung der Bausteine des Pflanzenreiches genügend auf die Anteilnahme stickstoffhaltiger Substanzen, namentlich der Eiweißstoffe, hingewiesen, jedoch die Mitwirkung des Stickstoffs bei der Erörterung der Ernährungsbedingungen bisher gänzlich unberücksichtigt gelassen. Wenn nun ein solches Vorgehen auch z. T. aus rein didaktischen Gründen seine Erklärung findet, so läßt sich doch andererseits aus der Möglichkeit einer derartigen Behandlungsweise unseres Gegenstandes entnehmen, daß die den Stickstoff betreffenden Vorgänge nur in einem losen Zusammenhange mit den früheren Darlegungen, insbesondere mit der Kohlenstoffassimilation, stehen.

Was aber wohl zunächst als ganz allgemeingültig über die Assimilation des Stickstoffs vorausgeschickt werden darf, ist die leider nicht hinwegzuleugnende Tatsache, daß man über sie bei weitem nicht so gut unterrichtet ist, wie über die des Kohlenstoffs. Es ist dies um so bedauerlicher zu konstatieren, weil sicherlich vom Gesichtspunkt der Düngerlehre der Stickstoff viel wesentlicher für die Ernährung der Pflanze in Frage kommt, als der Kohlenstoff. Andererseits sind die — wenn man so sagen darf — die lebende Substanz der Pflanze bildenden Stoffe, wie das Protoplasma, die Fermente und Enzyme und die Chlorophyllkörner stickstoffhaltige Körper, d. h. also die Träger der Lebensfunktionen der Pflanze sind unzertrennlich mit dem Stickstoff verbunden.

Das Zustandekommen der stickstoffhaltigen Substanzen kann selbstverständlicherweise nicht allein aus dem Zusammentritt von CO_2 und H_2O erklärt werden, sondern es muß andere Vorgänge als die Kohlenstoffassimilation zur Ursache haben, und in der Tat verabreichen wir unseren Kulturpflanzen alljährlich eine ungeheure Menge von Stickstoffdüngern, sowohl in Form von Salpeter als von Ammoniaksalz, um gleichzeitig damit ihren Gehalt an stickstoffhaltigen organischen Stoffen außerordentlich stark vermehrt zu sehen. Wir werden daher mit Recht annehmen dürfen, daß der Stickstoff in Gestalt anorganischen Materials der Pflanze einverleibt wird, oder doch jedenfalls zugeführt werden kann, und daß das Chlorophyll bei der Aufnahme des Stickstoffs keinen Anteil zu haben braucht.

Da sich aber außer Stickstoff noch Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff am Aufbau der stickstoffhaltigen organischen Substanz beteiligen, so kann ihre Bildung nur dort vollzogen werden, und dies ist der springende Punkt des ganzen Problems, wo organische Substanz und Stickstoff in irgend aufnehmbarer Form vorliegen, so daß wir zu der Auffassung einer Bindung reaktionsfähigen Stickstoffs mit schon vorher ausgebildeten Kohlenstoffverbindungen gelangen. Dieser Vorgang vermag sich in chlorophyllfreien wie chlorophyllführenden Zellen zu voll-

ziehen, jedoch scheint immerhin noch eine besondere Einrichtung für diesen Zweck vorhanden sein zu müssen, denn außerhalb der Pflanze sehen wir keinen Zusammentritt stickstoffreier organischer Substanz mit anorganischem Stickstoffmaterial zu Eiweiß oder dergleichen stattfinden.

Es kann aber keine Frage sein, daß alle Proteinstoffe infolge eines Reduktionsprozesses aus den ursprünglichen Assimilationsprodukten der chlorophyllhaltigen Zelle hervorgegangen sind, indem freier N, Ammoniak oder Salpetersäure zu diesen in Beziehung treten. Allerdings wissen wir auch hier wieder nicht, wie im einzelnen der Vorgang verläuft, doch sind Andeutungen genug dafür vorhanden, von denen später noch die Rede sein wird. Jedenfalls läuft das ganze Problem der Eiweißbildung in der Pflanzenzelle letzten Endes auf die Frage nach der Entstehung der Aminosäuren hinaus. Es ergibt sich dies schon ohne weiteres als eine Folge des Aufbaus der Eiweißsubstanz.

Gehen wir von der Elementarzusammensetzung der stickstoffhaltigen organischen Stoffe, insbesondere des Eiweißes, aus, so bedarf die Entstehung des aus C, H und O aufgebauten Anteils keiner näheren Erörterung, da dieselbe schon bei der Kohlenstoffassimilation dargelegt wurde, und wir in ihr, wie oben hervorgehoben, einen besonderen Teilakt des ganzen Vorganges zu erblicken haben. Uns muß daher zuvörderst die Aufnahme des Stickstoffs in die Pflanze, d. h. die eigentliche Stickstoffassimilation und dann der Zusammentritt des Stickstoffs mit den übrigen Elementen interessieren.

Nach der Art des Vorkommens von gebundenem Stickstoff in der Natur liegen zwar für die Pflanze verschiedene Möglichkeiten seiner Aufnahme vor, aber nur die eine erweist sich von praktischer Bedeutung. Wir dürfen daher ganz allgemein sagen, daß die Pflanze ihren Stickstoffbedarf aus dem Boden deckt. Die geringen Ausnahmen werden wir ihrer Bedeutung nach gebührend berücksichtigen.

Die größte Menge des Stickstoffs in der Natur beherbergt, wie allgemein bekannt sein dürfte, die Luft, setzt sie sich doch aus rund 79 Teilen N und 21 Teilen O zusammen. Hier ist der Stickstoff aber in elementarer Form vorhanden, und vergegenwärtigen wir uns der großen Indifferenz des freien Stickstoffs, mit anderen Elementen Verbindungen einzugehen, und außerdem des Umstandes, daß bei unmittelbarer Ausnutzung dieser schier unerschöpflichen Quelle seitens der Pflanze überhaupt kein Mangel an Stickstoff in der Landwirtschaft fühlbar werden könnte, so erkennen wir, daß nur der gebundene Stickstoff der Pflanze zugänglich ist. Allerdings besteht auch hier wieder eine Ausnahme, von der gleichfalls noch die Rede sein wird. Andererseits ist es gelungen, den freien Stickstoff der Luft auf indirektem Wege der Pflanze zugänglich zu machen, jedoch fallen diese Bestrebungen und

Maßnahmen in den Bereich künstlicher Stickstoffversorgung der Pflanze und somit aus dem Rahmen unserer vorliegenden Betrachtungen.

Jedoch der experimentelle Beweis für eine solche Sachlage wie die obige, die heute allerdings ein unumstößlich sichergestelltes Allgemeingut der Wissenschaft geworden ist, mußte erst erbracht werden, wir werden uns bei der grundlegenden Bedeutung dieser Frage für die Stickstoffassimilation, d. h. für die Ernährung der grünen Gewächse mit Stickstoff, mit den in Betracht kommenden Untersuchungen vertraut zu machen haben.

Boussingault war der erste, der hier entscheidende Versuche angestellt hat. Nach vieljährigen vergeblichen Bemühungen gelang es ihm, in den Jahren 1851—54 alle etwaigen noch störenden Fehlerquellen bei seiner Versuchsanordnung auszuschalten und dadurch ein einwandfreies Resultat zu erzielen. Als Standort für seine Pflanzen benutzte er reinen Sand und Bimssteinpulver, denen nur Asche vom Stalldung zugesetzt war, während die Luft sorgfältigst von Ammoniak und Salpetersäure befreit war, so daß die in einem geschlossenen Glaskasten befindliche Versuchspflanze keinerlei gebundenen Stickstoff von außen zugeführt erhielt. Die Stickstoffanalysen der Aussaat wie der Ernte ließen keine Aufnahme von N erkennen, wie überhaupt die unter diesen Verhältnissen gezogenen Pflanzen nur äußerst klein blieben. Damit war aber bewiesen worden, daß trotz der zur Verfügung gestellten reichlichen Menge Stickstoffs in freier Form, weder Bohne, noch Hafer eine Verarbeitung desselben vorzunehmen in der Lage waren. Erst Hellriegels epochemachende Entdeckung vom Jahre 1886, von der wir alsbald gleichfalls hören werden, legte der aus diesen Versuchen gezogenen Schlußfolgerung eine Einschränkung auf.

Wenn somit das große Stickstoffreservoir der Luft den Pflanzen im allgemeinen als verschlossen gelten muß, so weist doch die schon einmal erwähnte in der landwirtschaftlichen Praxis geübte Versorgung der Pflanzen mit anorganischen Stickstoffsalzen aufs bestimmteste darauf hin, daß die Zufuhr des Stickstoffs aus dem Boden durch die Wurzel erfolgt, und es erwächst die weitere Frage, in welcher Form der Bindung solches geschieht? Daß die Stickstoffverbindungen des Bodens sehr verschiedener Art sein können, ist eine schon länger bekannte Tatsache, neben organischem Stickstoff tritt er in Form von Ammoniak oder Salpetersäure auf, und auch hier mußte wieder erst dargetan werden, welche drei Formen der Pflanze am zuträglichsten, wenn nicht gar von ihr allein aufnehmbar seien. Diese sowohl aus theoretischen wie praktischen Gründen gleich wichtige Frage hat in ihrer Beantwortung auch heute noch nicht völligen Abschluß gefunden, wenn auch wohl als erwiesen gelten darf, daß in den allermeisten Fällen die Salpetersäure bezw. der Stickstoff in der Form des Salpeters den Vorrang genießt.

Schon zu den Zeiten Just. v. Liebigs war dies eine heiß umstrittene Frage, und wenn auch sehr viele natürliche Verhältnisse direkt zugunsten des Salpeters sprachen, so war es wiederum die Autorität Liebigs, die hiergegen Front machte, und das Ammoniak in seinen Salzen als den alleinigen Stickstoffversorger ausgab. Den Beweis, daß salpetersaure Salze fähig sind, die Pflanze zu ernähren, erbrachte aber erst Boussingault, und zwar durch Vegetationsversuche, die er mit geglühtem Sand ausführte, während Knop vermittels seiner Wasserkultur solches bestätigte. Jedoch auch die Aufnahme des Ammoniaks durch die Wurzel war ein seit den Untersuchungen von Ville aus dem Jahre 1856 festbegründeter Satz, so daß man auf die Assimilationsfähigkeit beider Stickstofformen hätte schließen müssen. Dieses geschah jedoch zunächst nicht, sondern die Nitratform wurde als einzige Stickstoffquelle angesehen, indem man die günstigen Wirkungen verabreichter Ammoniaksalze auf die sich im Boden vollziehende Nitrifikation derselben zurückführte. Daß gewisse chlorophyllfreie Kryptogamen imstande sind, neben stickstoffreier organischer Nahrung Ammoniak- oder Salpetersäure zu verwerten, wurde durch die Arbeiten Pasteurs erbracht, und wenn sich diese Erkenntnis auch nicht als verallgemeinerungsfähig erwies, so lieferten doch viele später beigebrachte Untersuchungen mit höheren Pflanzen weitere Beweise für die Assimilation des Nitrat- und Ammoniak-Stickstoffs. Trotzdem findet man auch heute den Standpunkt von der vorherrschenden Nitratassimilation wieder ganz allgemein vertreten, und zwar einmal in Rücksicht darauf, daß man alle sonstigen Nährstoffe der Pflanze in hochoxydierter Form als assimilationsfähig erkannt hat, und zweitens, weil in der Tat die Mehrheit der zur Beobachtung gelangten Fälle für ein solches Verhältnis spricht. Daneben kommen aber, was nicht unerwähnt sein soll, auch wohl Nitrite hier und da zur Aufnahme. Von den salpetersauren Verbindungen erweisen sich namentlich die in Wasser leicht löslichen, mit einer gleichfalls assimilationsfähigen Base versehenen Salze, wie KNO_3, $NaNO_3$, NH_4NO_3, $Ca(NO_3)_2$ und $Mg(NO_3)_2$ zugänglich, und es erfolgt ihr Zutritt, um es nochmals zu betonen, durch die Wurzel aus dem Boden.

Einen weiteren Beweis für die Ammoniakstickstoff-Assimilation, bei der eine etwaige Nitrifikation sogar als ausgeschlossen zu gelten hat, haben Adolf Mayer u. a. Autoren beigebracht, indem sie die Aufnahme nicht durch die Wurzel, sondern durch die oberirdischen Pflanzenteile, nämlich Blätter, sich vollziehen ließen. Zu diesem Zweck wurden nach einem Versuch von Mayer die oberirdischen Teile von jungen Weizenpflanzen luftdicht von den Wurzeln abgesperrt und durch Bestreichen mit Lösungen von $(NH_4)_2CO_3$ mit Stickstoff ernährt. Der Erfolg einer solchen Maßnahme wird durch folgende Zahlen belegt. Die ursprünglichen Samen hatten eine Trockensubstanzmasse von 0,043 g mit 0,0011 g N

aufzuweisen, und es ergaben die ohne NH_3-Behandlung belassenen Pflanzen eine Ernte von 0,104 g Trockenmasse mit nur 0,0020 g N, dagegen die mit $(NH_4)_2CO_3$ in gedachter Weise behandelten Pflanzen eine solche von 0,324 g mit 0,0130 g N. Aber nicht nur mit Weizen, sondern auch mit anderen Pflanzen wurden gleichlautende Ergebnisse erzielt, und zwar selbst dann, wenn man die Wurzeln in ein und dieselbe Nährlösung eintauchen ließ. Allerdings ist dies der einzig beobachtete Fall, daß eine Nährstoffversorgung außer der durch Kohlenstoff durch die oberirdischen Pflanzenteile erfolgt, er verdient insofern Beachtung, als durch ihn eine Aufnahme von gebundenem Stickstoff aus der Luft durch das Regenwasser erwiesen wird.

Wenn somit als festgestellt gelten darf, daß sowohl Salpeter- als auch Ammoniak-Stickstoff assimilationsfähig sind, und zwar letzterer sogar durch die oberirdischen Blätter, so wäre noch darauf hinzuweisen, daß von den Ammonsalzen nicht alle als gleichwertig in dieser Hinsicht zu erachten sind. Zwar hat sich kein wesentlicher Unterschied zwischen Ammonitrat und -chlorid und phosphorsaurem Ammon herausgestellt, wohl aber ist das Ammonkarbonat infolge seiner stark alkalischen Eigenschaften als weniger zweckdienlich anzusehen. Speziell für praktische Zwecke wäre daran anschließend zu erinnern, daß Kartoffeln, Rüben, Lupinen und Buchweizen den Salpeterstickstoff bevorzugen, wogegen Mais, wie überhaupt alle Gräser und das Getreide, sodann Raps, Rübsen, Kohl und Zwiebel, Moorpflanzen und Waldbäume beide Stickstofformen in gleich guter Weise verwerten.

Werden nun aber auch stickstoffhaltige organische Stoffe von der höheren Pflanze aufgenommen und ausgenutzt?

Sehen wir von früheren Ansichten ganz ab, so glaubte man schon zu jener Zeit, als die Mineraltheorie ihren Siegeslauf begann, an eine solche Möglichkeit nicht, und auch heute steht man auf dem Standpunkt, daß eine solche Ernährungsweise nur untergeordnete Bedeutung für einzelne Fälle besitzt. Zwar erscheint, wie sich Fr. Czapek in dieser Hinsicht ausgedrückt hat, „bei geeigneter Auswahl der dargereichten Verbindungen Eiweißsynthese auf Kosten dieser Stoffe zu veranlassen realisierbar", doch müssen wir uns bei der Bedeutung dieser so wichtigen Frage nach diesbezüglichen Tatsachen etwas näher umsehen.

Die älteren Untersuchungen, die hierfür das Wort zu reden imstande wären, sind jedoch ohne Berücksichtigung der Gegenwart und des Einflusses von Bakterien usw. in der Nährlösung ausgeführt worden, und es kommt ihnen daher keine Beweiskraft zu. Erst der von P. Baeßler geführte Nachweis aus dem Jahre 1887, daß Maispflanzen den Stickstoff des Asparagins zu verwerten imstande sind, und zwar unter Ausschluß des sich aus dem Asparagin bildenden Ammoniaks, erbrachte die gewünschte experimentelle Bestätigung. Andererseits lassen

die von L. Lutz 1889 ausgeführten Untersuchungen, die gleichfalls unter Befolgung des Ausschlusses bakterieller Einflüsse angestellt worden sind, erkennen, daß Methyl-, Aethyl-, Propyl-, Butyl- und Amylamin ohne Überführung in Ammoniak und spätere Nitrifikation desselben von höheren Pflanzen aufgenommen werden konnten. Dagegen erwiesen sich nach dem gleichen Forscher Leucin, Tyrosin, Glykolamin, Betain, Tetramethylammonium, Tetraäthylammonium, Allylamin, Benzylamin und Pyridin für phanerogame Pflanzen als nicht assimilierbar. Doch hat schon Ernst Schulze diese letzteren Untersuchungen aus anderen Gründen bemängeln müssen, so daß man gut tun wird, sich der folgenden Worte Adolf Mayers zu erinnern: „Überhaupt muß man sich in Bezug auf die Stickstoffaufnahme der Organismen sehr vor übereilten Verallgemeinerungen hüten".

Weiter soll nach japanischen Feststellungen über den pflanzlichen Stoffwechsel der Bambusgewächse sowohl Tyrosin als auch Asparagin verwendungsfähig zur Eiweißregeneration sein. Doch da sich ersteres langsamer als letzteres zur Eiweißbildung erwies, so knüpft Ernst Schulze daran die Erklärung von einer vorausgehenden Umwandlung des Tyrosins in Asparagin an, wodurch er zu der bezeichnenden Schlußfolgerung gelangt, „daß Leucin und Tyrosin bei der Ernährung phanerogamer Pflanzen Dienste leisten können". Wir sehen also abermals kein unter allen Umständen feststehendes Ergebnis vorliegen.

Physiologisch verwertbar erscheint der von Overtou gemachte Befund, daß die Aminosäuren, wenn auch nur sehr langsam, die Plasmahaut zu passieren vermögen, so daß diese geringe Geschwindigkeit für die Ernährung bezw. Versorgung mit Stickstoff genügen dürfte. Nach gewissen Untersuchungen soll das Guanidin für Phanerogamen sich als schädlich erweisen, während Hiltner, allerdings für das salpetersaure Guanidin, das Gegenteil beansprucht. Daß demgegenüber niedere Pflanzen wie Bakterien und Pilze befähigt sind, die verschiedenartigsten Stickstofformen, selbst tertiäre Amine, trimethylierte Aminosäuren (Betain) zu verwerten, ist bekannt. Auch ist es Felix Ehrlich gelungen, selbst heterozyklische Stickstoffverbindungen und namentlich auch Alkaloide als Stickstoffnahrung für verschiedene Mikroorganismen mit Erfolg heranzuziehen. Jedoch trotz all der genannten Feststellungen muß vor der Hand noch die Frage als offen gelten, wie weit die höheren Pflanzen imstande sind, Stickstoffquellen außer Salpeter unmittelbar zu verwerten. Denn trotz des vielfach geführten Nachweises vom Ausbleiben eines Anzeichens von stattfindender Salpeterbildung reicht dieser negative Befund nicht aus, um die gegenteilige Ansicht unanfechtbar zu stützen. Fassen wir alles gemeinsam zusammen, was wir bezüglich der Aufnahme des Stickstoffs in seinen Verbindungen als gesichert betrachten können, so müssen wir entsprechend der schon vorweggenommenen Angaben da-

hin entscheiden, daß vornehmlich, an erster Stelle, nur der Salpeterstickstoff für die höheren Pflanzen in Frage kommt, daneben, man möchte sagen, gelegentlich, Ammoniakstickstoff, und in noch viel selteneren Fällen organisch gebundener Stickstoff. Dagegen erweist sich der freie Stickstoff als nicht assimilierbar, sofern nicht eine indirekte Überführung, von der wir alsbald zu sprechen haben werden, Platz greift.

Auch für die Verhältnisse in der Ackererde hat sich immer mehr als zutreffend ergeben, daß alle stickstoffhaltigen Düngemittel durch Bakterientätigkeit in Nitratstickstoff überführt werden, und dasselbe gilt für die im Boden auf natürlichem Wege angesammelten Stickstoffsubstanzen. Auch spricht hierfür, daß nur sehr geringe Mengen von Ammoniakstickstoff im Boden zum Nachweis gelangen, ja, solche sogar den unteren Schichten des Bodens fremd sind. Dagegen überwiegt im allgemeinen der Nitratstickstoff.

Damit taucht aber die Frage nach der Herkunft des Bodenstickstoffs auf, womit wir uns hier jedoch nur kurz befassen wollen, nämlich nur soweit, als es sich um den atmosphärischen Stickstoff handelt, während wir die Umwandlung des Stickstoffs im Boden, herstammend aus den Resten der Pflanzen und Tiere, in anderem Zusammenhange zu behandeln gedenken. Somit können wir zwar auf zwei Quellen des Bodenstickstoffs schließen, wenn wir nicht zugeben wollen, daß letzten Endes aller Stickstoff der Atmosphäre entstammt.

Mit den regelmäßig niedergehenden Niederschlägen gelangen Ammoniak und Salpetersäure resp. salpetrige Säure in den Boden und werden dort z. T. festgehalten. Über ihre Entstehung in der Atmosphäre wollen wir gleichfalls hinweggehen, wohl aber bemerken, daß ihre Menge bei weitem nicht ausreicht, um den Bedarf unserer Kulturpflanzen an Stickstoff zu decken. Legt man die älteren Angaben Boussingaults über den Gehalt der Regen- und Schneewässer an NH_3- und N_2O_5-Stickstoff zugrunde, so erhält man bei Annahme einer jährlichen Niederschlagsmenge von 720 mm 1,82 kg Ammoniak und 0,88 kg Salpetersäure, so daß in Summa 2,7 kg N je Hektar entfallen. O. Kellner hat für Japan ungefähr die gleichen Zahlen ermittelt und nach Rothamsteder Aufzeichnungen erhöht sich der Gesamtbetrag auf 3,6 kg, während v. Feilitzen für Flahult in Schweden im Jahre 1909 sogar 5,19 kg Gesamtstickstoff berechnete. Hier stellte sich das Verhältnis von NH_3- zu N_2O_5-Stickstoff wie rund 3 : 1, und es sind dieses Werte, die mit den in Rothamsted gefundenen sehr gut übereinstimmen. J. Hudig hat dann für Holland im Jahre 1912 den Wert 6,73 kg als auf einen Hektar entfallend gefunden, was sich in gleicher Richtung mit Ermittlungen von Müntz und Laené und solchen in Gembloux

bewegt. E. Haselhoff fand ganz neuerdings sogar 14,25 kg N je ha und Jahr[1]).

Vergleicht man aber mit diesen Zahlen die Mengen an Stickstoff, die alljährlich durch eine mittlere Stickstoffernte der gleichen Bodenfläche entzogen werden, nämlich etwa 60—100 kg, so zeigt dies nur allzu deutlich die bescheidene Leistung, die der atmosphärische Stickstoff zu bieten vermag. Eine solche mag wohl noch für den mit wildwachsenden Pflanzen bestandenen Boden genügen, da dieser durch den herbstlichen Blattabfall eine weitere Stickstoffbindung erfährt, aber für den Anbau von Kulturpflanzen spielen jene Stickstoffmengen keine ernstlich in Betracht zu ziehende Rolle, und so sind wir unter allen Umständen gezwungen, eine reichliche Stickstoffzufuhr vorzunehmen.

Nun vermag aber dennoch die Pflanze, wenn auch nicht jede, so doch eine besondere Gruppe derselben, wie wir es schon andeutungsweise haben durchblicken lassen, den freien Stickstoff der Luft indirekt auszunutzen, und damit eröffnet sich für diese besondere Pflanzengruppe eine unbegrenzte Quelle an Stickstoff. Es ist besonders beachtenswert, daß sich die Erkenntnis von einer derartigen Fähigkeit gewisser Gewächse aus der Beobachtung in der landwirtschaftlichen Praxis ergab und sich trotz des zunächst ablehnenden Standpunkts seitens der Wissenschaft behauptet hat. Um dies verstehen und würdigen zu können, muß man sich vergegenwärtigen, daß die exakten Untersuchungen Boussingaults den für damalige Zeit einwandfreien Nachweis von dem Unvermögen der höheren Pflanzen, elementaren Stickstoff in sich aufzunehmen, erbracht hatten, auf welchen Erfahrungssatz sich aber die Wissenschaft berufen mußte, solange nicht das Gegenteil bewiesen worden war. Schon verhältnismäßig frühzeitig, jedenfalls bevor man eine klare Auffassung von der Herkunft des Stickstoffs in der Pflanze hatte, machten schon die Vertreter der landwirtschaftlichen Statik auf die eigentümliche nährstoffbereichernde Eigenschaft der kleeartigen Gewächse aufmerksam[2]). Wenn diese Ansicht nun auch nicht in allen Punkten zutraf, so wurde doch die Besonderheit dieser Pflanzen in ihrer Stellung zur Fruchtfolge erkannt und gewürdigt.

Jedoch erst zu Zeiten Liebigs erfuhr die merkwürdige Tatsache eine wissenschaftliche Behandlung, als Lawes und Gilbert in Rothamsted darlegten, daß der Ertrag an Erntemasse wie auch an Stickstoff bei 10jährigem Weizenanbau hintereinander mehr und mehr zurückgeht im Gegensatz zu den Ernten bei abwechselndem Anbau von Weizen und Bohnen, wodurch eine regelmäßige Steigerung der Erträge zu erreichen sei.

[1]) E. Haselhoff, Landw. Vers.-Stat. 102, 1924, S. 89.

[2]) Auch Plinius berichtete schon viel früher über die Leguminosen in dieser Beziehung.

Besonders war es aber der Praktiker Schultz-Lupitz, der zu Anfang der achtziger Jahre durch langjährige Versuche mit Lupinen auf magerem Sandboden das stickstoffbereichernde Vermögen dieser Pflanze darzutun wußte, indem er nicht nur einen 15- und mehrjährigen Anbau von Lupine ohne Stickstoffdüngung mit Erfolg als möglich erwies, sondern auch den Nachweis von einer Stickstoffvermehrung des Bodens nach einer solchen Maßnahme erbrachte. Klee, Lupine sowie Bohne, und nicht nur diese, sondern noch eine große Anzahl anderer Pflanzen aus der Gruppe der Schmetterlingsblütler, zeigten dasselbe Verhalten und wurden daher als Stickstoffmehrer den diese Eigenschaft nicht aufweisenden Gramineen, Hack- und Ölfrüchten oder Stickstoffzehrern unter den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen gegenübergestellt, und es galt nunmehr, auch der Ursache der Stickstoffersparnis auf die Spur zu kommen.

Wie sehr die Leguminosen hinsichtlich ihrer Stickstoffernährung von den übrigen Pflanzen abweichen, mag durch einige Angaben Emil Wolffs, die schon aus den Jahren 1888/90 stammen und Gefäßversuchen entnommen sind, zahlenmäßig zum Ausdruck gelangen. Alle Versuchspflanzen erhielten gleiche Grunddüngung, nur wurde ihnen abwechselnd je Gefäß 0,83 % N in Form von Salpeter zugeführt oder vorenthalten. Die unter diesen Bedingungen erzielten Ernten an Trockensubstanz und an Stickstoff fielen in g wie folgt aus:

	Hafer		Buchweizen		Raps		Erbsen		Wicken		Rotklee	
	−N	+N	−N	+N	−N	+N	−N	+N	−N	+N	−N	+N
Trocken-substanz:	24	91	12	44	13	50	325	329	250	241	97	97
N:	0,16	0,44	0,14	0,43	0,13	0,50	6,7	6,5	6,0	6,0	3,3	3,2

Diese wie spätere Untersuchungen ließen keinen Zweifel mehr aufkommen, und es fehlte nicht an vielseitigen Bemühungen, die Ursache des merkwürdigen Verhaltens der Leguminosen aufzudecken. Vieles ließ darauf schließen, daß die besagten Pflanzen im Gegensatz zu den „Stickstoffzehrern“ befähigt sein mußten, den freien Stickstoff aus der Atmosphäre zu verwerten. Jedoch die Botaniker wollten von einer solchen Erklärungsweise nichts wissen, weil sie mit Recht Boussingaults Versuche gegen eine solche Ansicht ausspielen mußten. Auf die vielen Versuche, die besondere Stellung der Leguminosen zur Stickstoffaufnahme durch verschiedene Tiefwurzelung, verschiedene Vegetationsdauer, verschiedenen Blattreichtum der Gewächse und dergl. mehr zu erklären, wollen wir nicht weiter eingehen. Sie zeigen uns nur, wie ratlos man dem ganzen Problem gegenüberstand. Auch hatte Liebig auf eventuelle spezifische Organe der Leguminosen, die Ammoniakdünste der Atmosphäre zu verarbeiten, aufmerksam gemacht, und wenn auch

zunächst Stöckhardts diesbezügliche Versuche einer solchen Auffassung zuzustimmen schienen, so zeigte sich doch alsbald, daß die Aufnahme von Ammoniak durch die oberirdischen Organe, wie wir es schon von den von Adolf Mayer mitgeteilten Untersuchungen her wissen, allen Pflanzen und nicht nur den Leguminosen zukommt.

Besonders Schultz-Lupitz ließ die Frage nicht ruhen, er brachte immer neue Beweise für das besondere Verhalten der Schmetterlingsblütler bei und verteidigte die Ansicht von ihrem Bindungsvermögen des elementaren Stickstoffs, ohne jedoch den exakten Beweis dafür erbringen zu können. Da trat im Jahre 1886 auf der Versammlung der Naturforscher und Ärzte zu Berlin Hermann Hellriegel mit seiner epochemachenden Entdeckung hervor, die des Rätsels Lösung brachte. Gestützt auf exakte unanfechtbare Versuche bewies er, daß die Papilionaceen tatsächlich imstande seien, wenn auch nicht unmittelbar, so doch mittelbar, den elementaren Luftstickstoff zu assimilieren, und zwar infolge eines symbiotischen Lebensverhältnisses zwischen Leguminosen einerseits und einem Bakterium, dem Knöllchenbakterium, andererseits.

Seine Versuchsergebnisse faßte Hellriegel schon gleich anfangs sehr klar und deutlich in folgenden Sätzen zusammen, so daß der nachfolgenden Forschung eigentlich nur noch Nebenumstände aufzudecken übrig blieb:

1. Die Leguminosen verhalten sich bezüglich der Aufnahme ihrer Stickstoffnahrung von den Gramineen prinzipiell verschieden.

2. Die Gramineen sind mit ihrem Stickstoffbedarf einzig und allein auf die im Boden vorhandenen assimilierbaren Stickstoffverbindungen angewiesen, und ihre Entwicklung steht immer zu dem disponiblen Stickstoffvorrate des Bodens in direktem Verhältnisse.

3. Den Leguminosen steht außer dem Bodenstickstoff noch eine zweite Quelle zur Verfügung, aus welcher sie ihren Stickstoffbedarf in ausgiebigster Weise zu decken resp., soweit ihnen die erste Quelle nicht genügt, zu ergänzen vermögen.

4. Diese zweite Quelle bietet der freie, elementare Stickstoff der Atmosphäre.

5. Die Leguminosen haben an sich nicht die Fähigkeit, den freien Stickstoff der Luft zu assimilieren, sondern es ist hierzu die Beteiligung von lebenstätigen Mikroorganismen im Boden unbedingt erforderlich.

6. Um den Leguminosen den freien Stickstoff für Ernährungszwecke dienstbar zu machen, genügt nicht die bloße Gegenwart beliebiger niederer Organismen im Boden, sondern ist es nötig, daß gewisse Arten der letzteren mit den ersteren in ein symbiotisches Verhältnis treten.

7. Die Wurzelknöllchen der Leguminosen sind nicht als bloße Reservespeicher der Eiweißstoffe zu betrachten, sondern stehen mit

der Assimilation des freien Stickstoffs in einem ursächlichen Zusammenhange.

Die Nachprüfung dieser Befunde Hellriegels und Willfahrts führte zu den gleichen Ergebnissen, so daß die Anwesenheit von Wurzelknöllchen seit jener Zeit als typisch für das Vermögen elementarer Stickstoffaufnahme zu gelten hat. Auch bei Nichtleguminosen, wie z. B. bei der Erle, wurde diese Fähigkeit in Verbindung mit Knöllchenbildungen erkannt, wenn sich auch Stoklasas Behauptung, daß allen Pflanzen ein solches Vermögen zukomme, als haltlos erwies. Desgleichen vermochte Liebschers Ansicht vom Stickstoffsammelvermögen der Kruziferen, insbesondere des weißen Senfs, nicht allen gegenteiligen Befunden standzuhalten, wenn auch viel später angestellte Untersuchungen eine etwas andere Ursache der bescheidenen Erfolge in besagter Richtung als wahrscheinlich hinstellen konnten.

Über den weiteren historischen Verlauf der Stickstoffassimilation mit Hilfe der Knöllchenbakterien ist noch zu berichten, daß es Beijerink gelang, die fraglichen Mikroorganismen zu isolieren und in Reinkultur zu züchten. Er nannte das Bakterium *Bacillus radicicola*. Prazmowski rief durch Impfung mit Reinkulturen dieses Bakteriums künstlich einen Knöllchenbesatz an den Wurzeln der Leguminosen hervor, wodurch der ursächliche Zusammenhang zwischen Mikroorganismus und Knöllchen, d. h. den äußerlichen Wurzelwucherungen außer Zweifel gestellt wurde. Dagegen fällt Friedrich Nobbe und seiner Schule das große Verdienst der praktischen Auswertung dieser Verhältnisse zu, indem von ihnen erkannt wurde, daß jeder besonderen Leguminose auch ein besonderes Bakterium eigentümlich ist, und daß man durch Beimpfung der Felder mit dem betreffenden Bakterium imstande ist, den Leguminosenertrag zu erhöhen.

Wie sich dagegen der Vorgang der Stickstoffaufnahme durch die Leguminosen vermittels der Knöllchenbakterien in seinen Einzelheiten gestaltet, ist noch nicht ganz aufzuklären geglückt. Wir müssen uns damit zufrieden geben, die Assimilation eben als Folge der Symbiose anzusehen, wobei wir mit de Bary dieses Verhältnis als ein genossenschaftliches Leben zweier Organismen in der Art zu verstehen haben, daß beide Organismen daraus einen Nutzen ziehen. Jedenfalls kommen die verschiedenen Arten unseres Bazillus freilebend sowohl in der Luft als auch im Wasser und im Erdboden vor. Aus letzterem dringen sie durch die Wurzelhaare in die Rinde der ihnen zusagenden Pflanzenwurzeln ein, indem sie zunächst das Haar und dann die Rindenzellen in geschlossener, schlauchförmiger Masse durchwachsen und somit dort jene uns bekannt gewordenen eigenartigen Auswüchse oder Wucherungen hervorrufen, deren Inneres als Bakteroidengewebe Bezeichnung gefunden hat. Hier vermehren sich die eingewanderten Bakterien und

wandeln sich unter dem Einfluß des sie umgebenden Protoplasmas in nicht mehr vermehrungsfähige Bakteroiden um, mit deren Zunahme auch die Ausbildung der Knöllchen wächst. Nur noch wenige Bakterien bleiben bei diesem Vorgange übrig, zumal die Bakteroiden eine Resorption seitens der Pflanze erfahren. Beim Verfaulen der Wurzeln gelangen aber diese wieder in den Boden und vermögen im nächsten Frühjahr den Ausgangspunkt für den soeben dargelegten Kreislauf abzugeben.

Das Wesen der hier vorliegenden Symbiose besteht also vermutlich darin, daß die Knöllchenerreger zunächst teilweise auf Kosten ihrer Wirtspflanze schmarotzend leben, indem sie die von ihr gebildeten Kohlehydrate, die sie ja als nichtchlorophyllführende Pflanzen nicht hervorbringen können, beziehen. Erst später geben sie den von ihnen aufgenommenen Stickstoff ab, wodurch dann ein friedliches Gedeihen beider Organismen angebahnt wird, denn nunmehr bestreiten beide einen gemeinsamen Haushalt. Somit führen die Bakterien den Stickstoff, den sie im freien Zustande der Luft entnommen haben, in gebundener Form in die Wirtspflanze ein.

Die große Bedeutung dieses Vorganges für die Landwirtschaft liegt auf der Hand. Wir haben an dieser Stelle nicht näher darauf einzugehen, wollen nur kurz die Nutzbarmachung dieser Verhältnisse in Gestalt der Gründüngung, des Zwischenfruchtbaus, gebührend hervorheben.

f) Die Wandlungen der stickstoffhaltigen Substanz im Pflanzenkörper

Hinsichtlich der Aufnahme des Stickstoffs und seiner Weiterverarbeitung haben wir bisher nur den einfachsten Teilakt darzustellen vermocht. Wir waren dabei leider gezwungen, oftmals zuzugeben, daß unsere diesbezügliche Kenntnis recht lückenhaft sei. Solches gilt aber in noch erhöhterem Maße, wenn wir nunmehr dazu übergehen, weitere Einsicht in die Synthese der stickstoffhaltigen Körper, insbesondere der Eiweißstoffe, zu gewinnen.

Es muß zunächst vorausgeschickt werden, daß uns eine sichere Kenntnis darüber fehlt, in welcher Weise die Pflanze die aus dem Boden bezogenen einfachen Stickstoffverbindungen, besonders Salpetersäure und Ammoniak, zu höhermolekularen Substanzen mit dem Eiweiß als Endprodukt umformt. Wir sind infolgedessen auch hier wieder gezwungen, unsere Zuflucht zu Analogieschlüssen zu nehmen, und müssen bei diesem Vorgange als sehr wahrscheinlich eine Reduktion der Salpetersäure zu Ammoniak gelten lassen. Dieses wie das direkt aus dem Erdboden aufgenommene Ammoniak wird zu den Blättern hinströmen, wo die eigentliche Eiweißsynthese, d. h. der Zusammentritt von Stickstoff mit kohlen-

stoffhaltigem Material, stattfinden soll. In welcher Art aber dieser Zusammentritt erfolgt, das steht völlig offen. Schon Liebig war der Ansicht, daß das Ammoniak mit dem durch die Chlorophylltätigkeit gebildeten Zucker in Reaktion tritt. Jedoch wäre ebensogut eine Verbindung des Ammoniaks mit dem intermediär auftretenden Produkt Formaldehyd denkbar, wie auch der in vielen Pflanzenteilen gefundenen Blausäure eine Rolle bei diesem Vorgang zukommen könnte.

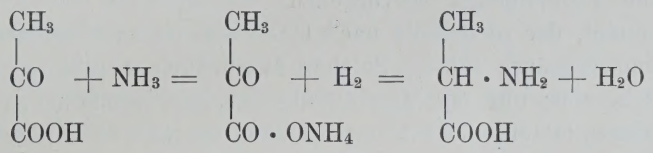
Immerhin kann es uns nach den bisherigen Mitteilungen und unserer Kenntnis von der Zusammensetzung der Eiweißkörper kaum zweifelhaft erscheinen, daß das vorliegende Problem der Eiweißsynthese in der Pflanze mit der Bildung der einzelnen Aminosäuren eng in Verbindung stehen muß. Denn wir haben doch die Aminosäuren als die Bausteine der Proteine anzusehen, obgleich neuerdings, was zwar nur nebenbei bemerkt sein soll, von N. Troensegaard und Jul. Schmidt der Standpunkt vertreten wird, daß eine derartige Rolle hauptsächlich sauerstoffhaltigen Pyrrolderivaten eingeräumt werden müsse. Unser Problem läuft demnach letzten Endes darauf hinaus, den Aufbau der aliphatischen Aminosäuren durch die Pflanze zu erklären, aber auch darüber sind wir keineswegs genau unterrichtet, zumal es bisher völlig unbekannt ist, zu welcher Zeit der Aufnahme von CO_2 und H_2O, also der Kohlenstoffassimilation, der Stickstoff hinzutritt.

Zwar trifft man im Pflanzenorganismus Aminosäuren an, aber wir wissen nicht, ob sie Auf- oder Abbauprodukte des Eiweißstoffwechsels darstellen. Unter solchen Verhältnissen bleibt uns aber auch hier wieder nichts anderes übrig, als uns Klarheit über die verschiedenen möglichen Reaktionen, die zu einer Entstehung der Aminosäuren führen könnten, zu verschaffen.

Nach Emil Abderhalden kommen drei Wege in Frage, die er folgendermaßen skizziert. Die Aminosäuren sind das Produkt eines direkten Assimilationsvorganges, d. h. sie entstehen ohne Umweg aus den besagten Grundstoffen, oder die Bildung der Aminosäuren folgt der Bildung anderer Stoffe, indem sich die Aminosäuren aus vorgebildeten Kohlehydraten unter Mitwirkung von Ammoniakverbindungen umwandeln, oder es können schließlich alle möglichen Verbindungen aus dem ersten Assimilationsprodukt der Kohlensäure und des Wassers hervorgehen.

Als Ausgangsmaterial für die verschiedensten Verbindungen, die hier in Frage kommen könnten, sieht er die uns schon von der Bildung des Säurerestes der Fette her bekannten Substanzen wie Milchsäure (Oxypropionsäure $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOH$), Brenztraubensäure ($\alpha$-Ketopropionsäure oder Acetylameisensäure $CH_3 \cdot CO \cdot COOH$) und Methylglyoxal, die entsprechende Aldehydverbindung der vorigen Säure, also $CH_3 \cdot CO \cdot COH$ an. Da sich alle drei Körper chemisch als sehr nahe

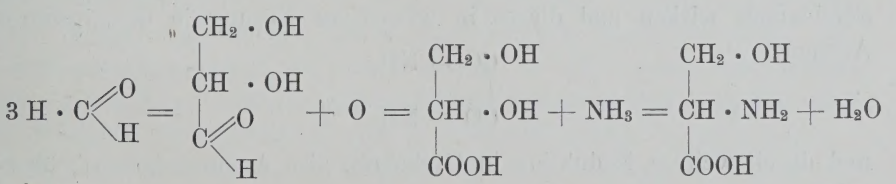
verwandt erweisen, so können sie leicht durch etwaige Oxydation, Reduktion oder Anlagerung oder Abspaltung von Wasser ineinander übergehen. Im Pflanzenkörper können sie aber als Zwischenprodukte der Kohlenstoffassimilation aus CO_2 und H_2O oder auch als Abbauprodukte der Kohlehydrate, namentlich der Glukose, Entstehung nehmen, wie wir dieses bei der Bildung der Fette gesehen haben. Aus der Brenztraubensäure kann sodann die uns schon bekannte Aminopropionsäure, das Alanin, hervorgehen, wie solches für den Tierkörper erwiesen worden ist.



Brenztraubensäure — Brenztraubensaures Ammon — α-Aminopropionsäure oder Alanin.

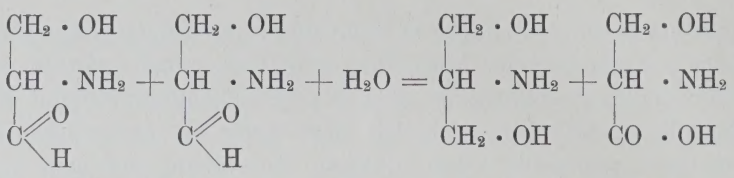
Da die Aminosäuren Serin und Cysteïn als Oxy- und Thioverbindung der Aminopropionsäure mit dem Alanin sehr nahe verwandt sind, so bietet ihre Entstehung aus dem Alanin keine Schwierigkeiten, zumal Oxydations- resp. Reduktionsvorgänge, im letzten Fall unter Heranziehung einer Schwefelsäurekomponente, hierfür ausreichen würden. Trotz der nahen Beziehungen der übrigen Aminosäuren zum Alanin würde allerdings wohl der soeben gekennzeichnete Weg für ihre Bildung aus Alanin zu große Schwierigkeiten bereiten, so daß er als kaum gangbar für die Pflanze bezeichnet werden kann.

Jedoch auch der dreiwertige Zucker, Glyzerose, könnte Veranlassung zur Entstehung von derartigen Aminosäuren geben, wobei wir uns daran zu erinnern haben, daß die Glyzerose als Kondensationsprodukt dreier Moleküle Formaldehyd Entstehung nehmen kann, so daß also eine Synthese vom ersten Assimilationsprodukt aus vorliegen würde, wie uns dies die nachstehenden Gleichungen vermitteln:



Formaldehyd — Glyzerose — Glyzerinsäure — Serin

Aber auch ein Zusammentritt von Glyzerose mit Ammoniak wäre denkbar, oder es könnten auch wohl zwei Moleküle Aminoglyzerinaldehyd mit Wasser nach Cannizzaro in Aminoglyzerin und Serin übergehen:



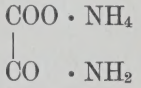
Aminoglyzerinaldehyd Aminoglyzerose — Aminoglyzerin — Serin

Ebensogut könnte aber auch der Glykolaldehyd durch Polymerisation von Formaldehyd hervorgehen, der amidiert den Aminoacetataldehyd bildet, der gleichfalls nach Cannizzaro zu Aminoaethylalkohol und Aminoessigsäure führt. Solcher Möglichkeiten gibt es genug, sie können uns aber nur ein Verständnis für die mutmaßlichen Vorgänge in der Pflanze bieten, nicht aber vermögen sie uns über unsere geringe Einsicht in die wirklichen Verhältnisse hinwegzutäuschen.

In all den vorgenannten Reaktionen handelt es sich um eine Verbindung des Ammoniaks mit Säuren oder mit Abkömmlingen derselben, aber es nimmt die Pflanze, nach dem, was wir erfahren haben, den Stickstoff zur Hauptsache in Form von Salpetersäure auf. Er muß also reduziert werden, was vermutlich über das Nitrat geschieht. Es wäre daher nicht ausgeschlossen, daß ein solcher Reduktionsvorgang gleichzeitig mit der Reduktion der Kohlensäure beim Assimilationsprozeß einsetzt und die sich hierbei bildenden Produkte aufeinander einwirken. Hierauf ist denn auch eine von Baudisch aufgestellte Theorie begründet worden, die der durch Reduktion entstandenen Nitrosylgruppe eine hervorragende Rolle zuerteilt und Nitrate wie Nitrite durch Formaldehyd bis zu Ammoniak und Aminosäure auf lichtchemischem Wege reduzieren läßt. Nach W. Loeb soll Ammoniak und Kohlenoxyd unter Bildung von Formamid

$$CO + NH_3 = H \cdot CO \cdot NH_2$$

aufeinander wirken und dieses in wässeriger Lösung in oxaminsaures Ammon



und durch weitere Reduktion in Glykokoll, also Aminoessigsäure, übergehen.

Da aber bekanntlich das Alanin in der Weise zur Darstellung gelangt, daß man Azetaldehyd, Blausäure und Ammoniak aufeinander zur Einwirkung bringt und das zunächst gebildete Nitril verseift, so wäre auch an einen derartigen Vorgang in der Pflanze für die Entstehung der Aminosäuren zu denken.

$$CH_3 \cdot C\begin{matrix}O\\H\end{matrix} + HCN + NH_3 = \begin{matrix}CH_3\\|\\CH \cdot NH_2\\|\\CN\end{matrix} + H_2O$$

$$\begin{matrix}CH_3\\|\\CH \cdot NH_2\\|\\CN\end{matrix} + 2\,H_2O = \begin{matrix}CH_3\\|\\CH \cdot NH_2\\|\\COOH\end{matrix} + NH_3$$

Alsdann müßte aber die Bildung der Blausäure, die man allerdings auch in der Pflanze vorfindet, voraufgegangen sein. Glukoside enthalten eine solche, wie z. B. das Amygdalin, und bei der Spaltung desselben tritt es auf. Nach Franzen soll aber auch die Salpetersäure durch Formaldehyd eine Reduktion zu salpetriger Säure erleiden und diese dann in Blausäure übergehen.

$$2\,HNO_3 + H \cdot C\begin{matrix}O\\H\end{matrix} = 2\,HNO_2 + H_2O + CO_2$$

$$HNO_2 + 2\,H \cdot C\begin{matrix}O\\H\end{matrix} = HCN + CO_2 + 2\,H_2O.$$

Der Cyanwasserstoff soll dann nochmals mit Formaldehyd reagieren, wodurch das Cyanhydrin hervorgeht, das mit Ammoniak in das Nitril, und dieses durch Verseifung, genau wie oben dargelegt, in Aminoessigsäure übergeht.

Wir haben darauf hinweisen müssen, daß die Reduktion der Nitrate vermittels Formaldehyd ein lichtchemischer Vorgang sei, und es könnte daraus der Schluß von der absolut notwendigen Gegenwart des Lichtes bei der Aminosäure-Synthese gezogen werden. Demgegenüber ist aber festzustellen, daß die Bildung der Proteinstoffe auch im Dunkeln verläuft. Auch Oxydationsprozesse vermögen bei Ausschluß von Licht die zum Zustandekommen des Vorganges notwendige Energie zu spenden, doch müssen zu diesem Zweck Kohlehydrate vorhanden sein. Der Atmungsvorgang sorgt für einen derartigen Abbau der Kohlehydrate, und es erscheint durchaus nicht notwendig, daß die Synthese der stickstoffhaltigen Substanzen mit der Lichtenergie etwas zu tun hat.

Weit bessere Einsicht besitzen wir über den Abbau der Eiweißsubstanzen in der höheren Pflanze, und zwar sind wir hier dank der Untersuchungen Ernst Schulzes gut unterrichtet. Sie haben uns wertvolle Aufschlüsse hinsichtlich der Veränderungen der Eiweißstoffe beim Keimungsvorgang der Samen gebracht. Der Genannte beobachtete bei der Keimung der Samen nicht nur einen starken Eiweißzerfall, sondern auch, daß sich die Produkte desselben besonders stark in den

Keimpflanzen anhäufen, wenn diese eine längere Zeit unter Lichtabschluß gehalten werden. Ferner ergab sich, daß das Sameneiweiß durch ein proteolytisches Enzym allmählich zu Peptonen, dann vermutungsweise zu Polypeptiden und schließlich zu Aminosäuren abgebaut wird. Solche Aminosäuren, die als letztes Zerfallprodukt zu gelten haben, haben E. Schulze und Mitarbeiter etwa ein Dutzend aus etiolierten wie normal gewachsenen Pflänzchen gewinnen können, wobei festzustellen war, daß ihre Menge anfangs wuchs, um sich später zu verringern und Asparagin wie Glutamin dafür vorherrschen zu lassen. Aus diesen Ermittelungen, die durch andere Forscher ihre Bestätigung erfahren haben, läßt sich schließen, daß bei der Eiweißumwandlung im Samen sich primär Aminosäuren abspalten, auf deren Kosten sekundär Asparagin und Glutamin gebildet werden.

In welcher Weise beide Amide am weiteren Eiweißstoffwechsel Anteil nehmen, ist noch nicht sicher erkannt. Nach Pfeffer soll das Asparagin die Wanderung des Eiweißes vom Samen durch die Stengel zu den Blättern und von diesen späterhin zu den sich neubildenden Samen vermitteln. Es steht dies im Einklang mit Beobachtungen von Schulze, nach welchen junge, im Freien gezogene Keimpflänzchen in ihren Stengeln vorwiegend Asparagin und nur wenig Eiweiß führen, dagegen in den Blättern und Kotyledonen das Umgekehrte in Erscheinung tritt. Auch häufen manche Pflanzen, wie z. B. die Zuckerrübe, in ihren Wurzeln während der Reife Glutamin an. Wie sich nun aber der Aufbau des Asparagins und Glutamins zum Eiweiß weiter gestaltet, ist wiederum nicht klargestellt. Im besonderen scheint es jedoch ausgeschlossen zu sein, daß aus einer einfachen Aminosäure eine komplizierte unmittelbar aufgebaut werden kann, vielmehr ist sicher anzunehmen, daß erst stets ein Abbau bis zum Ammoniak voraufgeht.

Es mag ferner noch eingeschaltet sein, obgleich dieser Hinweis nach den voraufgegangenen Mitteilungen eigentlich nicht mehr notwendig erscheint, daß die Umwandlung der Eiweißstoffe in Aminosäuren und umgekehrt von nicht zu unterschätzender Bedeutung für den physiologischen Vorgang der Wanderung der Eiweißstoffe ist. Die Aminosäuren sind lösliche, die Membranen der Zellen durchdringende Substanzen, während den Proteinstoffen solche Eigenschaften fehlen, ja die letzteren sind infolge ihrer kolloiden Natur noch obendrein quellbar und daher wenig zur Wanderung befähigt. Dementsprechend kann man den Aminosäuren die nämliche Rolle bei den Stoffwechselvorgängen einräumen, die man den Zuckern bei der Kohlehydratwanderung zubilligt. Da sich diese Umwandlung aber zu wiederholten Malen vollzieht, so wird dadurch das Fortschaffen der Eiweißkörper nach bestimmten Stellen der Pflanze auf relativ einfache Art leicht verständlich.

Über den weiteren Abbau der Aminosäuren vermögen wir nichts auszusagen, ebensowenig ist uns etwas darüber bekannt, wie der Kohlehydratstoffwechsel mit dem der Eiweißstoffe und Fette in Wechselwirkung tritt. Wahrscheinlich wird es sich um eine Desaminierung der Aminosäuren dabei handeln. Ziehen wir aber Schlüsse aus den Vorgängen beim Abbau der betreffenden Säuren durch niedere pflanzliche Organismen, wie Bakterien und Pilze, so läßt sich annehmen, daß auch der Harnstoff ein Stoffwechselprodukt der höheren Pflanze ist, sein Zustandekommen jedoch durch die sofortige Spaltung in Ammoniak und Kohlensäure verwischt wird. Auch noch viele andere kompliziert aufgebaute stickstoffhaltige Körper in der Pflanze könnten auf diese Weise ihre Entstehung nehmen, wovon hier aber ebenfalls nicht die Rede sein soll. Schließlich wären auch die Alkaloide in einem solchen Zusammenhang zu behandeln.

Jedenfalls haben wir aus alledem zu entnehmen, und die Besprechung der organischen Substanz der Pflanze hat es uns ja auch direkt gezeigt, welch kompliziert zusammengesetzte Verbindungen die Pflanze zu bilden vermag. Würden wir aber den Vorgängen ihrer Entstehung noch weiter nachgehen, so würden wir bald erkennen, daß alle diese Substanzen mittel- oder unmittelbare Beziehungen zu den Aminosäuren aufzuweisen haben. Was aber die Alkaloide anbetrifft, so müssen wir eingestehen, daß wir über ihre Bedeutung für die Pflanze wenig wissen, denn schon allein der Umstand, daß sie in manchen Pflanzen nur unter besonderen Lebensbedingungen, so z. B. in den Tropen, nicht aber in kühleren Breiten, zur Ausbildung gelangen, läßt auf keine unbedingte Notwendigkeit ihrer Anwesenheit im Pflanzenorganismus schließen. Während man daher auf der einen Seite der Ansicht zuneigt, ihnen eine Rolle im Stoffwechsel der Pflanze zuzuerkennen, glaubt man andererseits, daß es sich in ihnen nur um Stoffwechselendprodukte handelt, insofern als die Pflanze durch ihre Bildung unbrauchbar gewordene Produkte des Stoffwechsels ausscheidet.

Wir haben schon einmal darauf hinweisen müssen, daß direkte Beobachtungen bezüglich der Umwandlung von Aminosäuren durch Bakterien und Hefen vorliegen, und wir wollen als Beispiel für den besonderen Abbau dieser Stoffe ihre Spaltung durch bestimmte Hefezellen nach dem Vorgange von F. Ehrlich anführen. Man nahm nämlich früher allgemein an, daß die bei der durch Hefe verursachten Gärung entstehenden Fuselöle (zumeist Amylalkohole) aus Kohlehydraten gebildet würden. Jedoch F. Ehrlich legte dar, daß dem nicht so sei, sondern daß die Fuselöle das Produkt der durch Gärung in Alkohol überführten Aminosäuren, und zwar ganz bestimmter Vertreter derselben, sind. Des weiteren ergab sich, daß die Hefen die Aminosäuren zum Zweck des Aufbaus ihrer Plasmasubstanz in Ammoniak und einen stickstoffreien

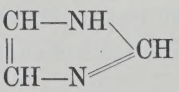
Teil zerlegen. Das Ammoniak wird sodann mit gewissen bei der alkoholischen Gärung entstehenden Bruchstücken des Körpers zu körpereigenem Eiweiß umgeformt. Der stickstoffreie Anteil scheidet bei diesem Vorgang in Gestalt von kohlenstoffärmeren Alkoholen, Säuren oder auch Aldehyden gänzlich aus, und es können diese gelegentlich unter Zusammentritt mit anderen Stoffwechselprodukten neue Verbindungen eingehen. Wir dürfen annehmen, daß sich ähnliche Vorgänge auch in der höheren Pflanze abspielen, wovon Ausscheidungen stickstoffreier Stoffwechselprodukte Zeugnis ablegen. Die gebildeten Aldehyde könnten durch Kondensation zunächst Veranlassung zur Bildung von Aldolen, dann von ungesättigten Aldehyden und schließlich von ringförmigen, aromatischen Verbindungen geben. Derartige Vorgänge macht Ehrlich für die Bildung der Riechstoffe in der Pflanze verantwortlich, so daß die große Klasse dieser genau so wie die Fuselöle als Abbauprodukte der Eiweißstoffe zu gelten haben würden.

Andererseits lassen sich aber, worauf unsere Aufmerksamkeit noch gelenkt sein möge, Wege von den verschiedenen Aminosäuren und ihren Abbauprodukten zu allen möglichen Verbindungen, die für den Pflanzenorganismus so kennzeichnend sind, wie z. B. Terpene, ätherische Öle, Farbstoffe und dergl. mehr auffinden.

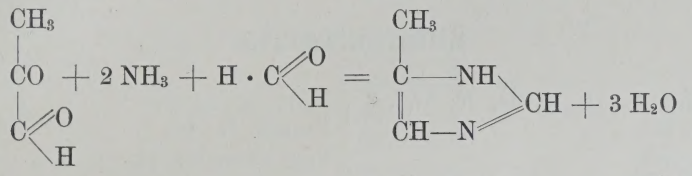
Zum Schluß unserer Erörterungen über den Stoffwechsel in der pflanzlichen Zelle wollen wir noch kurz der Nukleoproteide gedenken. Sie sind bekanntermaßen gleich wichtige Substanzen für die Pflanze und das Tier, insofern die Zellkernsubstanz aus ihnen gebildet wird. Erinnern wir uns ihrer chemischen Zusammensetzung, so haben wir sie als Körper erkannt, die einerseits aus Eiweiß und andererseits aus einem nicht mit Eiweiß verbundenen Anteil bestehen. Letzterer heißt Nuklein und steht mit der Nukleinsäure in direkter Verbindung.

Es ist nun wohl als sicher anzunehmen, daß die Pflanze die Komponenten der Nukleoproteide einzeln für sich zur Ausbildung bringt, um sie dann erst miteinander zu dem einheitlichen Körper zu verbinden. Es wird sich daher für uns darum handeln zu erfahren, wie die Nukleinsäure ihre Entstehung nimmt. Auf die Bildung ihres Kohlehydrat- und Phosphorsäureanteils brauchen wir nach den früheren Darlegungen nicht nochmals einzugehen, wohl aber müssen wir etwas zum Verständnis der Bildung des aus Purin- und Pyrimidinbasen aufgebauten weiteren Anteils beibringen. Da aber auch hier bisher keine bestimmten Zwischenstufen, die von bekannten Verbindungen zu besagten Basen hinführen, aufgedeckt sind, so ist es nur möglich, den vermutlichen Weg anzudeuten.

Von der α-Amino-β-imidazol-propionsäure, dem Histidin, her ist uns der Imidazolkern bekannt.



Er ist in den Purinbasen enthalten, und es lassen sich infolgedessen genetische Beziehungen zwischen der Aminosäure Histidin und unserem Bestandteil der Nukleoproteide vermuten. Die Entstehung des Imidazols geschieht voraussichtlich im Wege des Abbaus aus Glukose, aus welcher Methylglyoxal und Formaldehyd zur Abspaltung gelangen, die sich ihrerseits mit Ammoniak zum Imidazolring schließen.



Methylglyoxal Methylimidazol.

Nimmt man mit Windaus noch die Beteiligung von Harnstoff an dieser Reaktion an, so gelangt man zum Xanthin, das eine Brücke zu den übrigen Purinbasen darstellt. Das Xanthin erweist sich aber als Muttersubstanz der von uns so sehr im Kaffee und Tee geschätzten Narkotika, denn es sind das Kaffein als Trimethyldioxypurin und das Theobromin als Dimethyldioxypurin nichts anderes als methylierte Xanthine. Jedoch hinsichtlich der Synthese der Pyrimidinbasen durch die Pflanze vermögen wir nichts auszusagen. Daß aber auch Nukleoproteide wie Nukleinsäuren den verschiedenartigsten Abbauvorgängen unterliegen, die allerdings nur im Tierkörper besonders studiert worden sind, versteht sich wohl nach all den von uns dargelegten Erörterungen von selbst. Ein Eingehen auf diese Verhältnisse liegt aber nicht mehr im Interesse unserer Darlegungen, denn es galt für unsere Zwecke nur die Hauptzüge der Substanzumwandlung in der Pflanze zu erörtern.

Autorenregister

Abderhalden, E., 11, 40, 44, 48, 57, 58, 66, 75, 77
Alten, F., 143
Aschoff, C., 118
Aso, K., 134

Baeßler, P., 174
de Bary, A., 180
Baudisch, O., 184
Bayer, v. A., 44, 153
Beijerinck, v., M. W., 180
Bennecke, W., 135
Bertholet, 11, 32
Berzelius, J., 63
Bigelow, 106
Birner, H., 105, 125
Blanck, E., 106, 109, 114, 128, 139, 143, 144, 145
Boehm, J., 132
Boussingault, J., 98, 172, 173, 176, 177, 178
Bredig, G., 64
Buchner, E., 63
Bütschli, O., 117

Cannizzaro, S., 162, 163, 183, 184
Chevreul, M. E., 34
Cohn, F., 117
Czapek, F., 114, 127, 128, 174

Daikubara, G., 136
Davy, H., 97, 115
Dehérain, P., 124
Densch, A., 145

Ebermayer, E., 114
Ehrenberg, P., 139, 144, 145
Ehrlich, F., 69, 175, 187, 188

Farsky, F., 118
Feilitzen, v., H., 176
Fischer, E., 11, 40, 44, 48, 58, 66, 75, 77
Fischer, M., 29
Fodor, A., 64, 65
Franzen, H., 185
Freckmann, W., 145

Geilmann, W., 142
Gilbert, J. H., 177
Grafe, V., 28
Graham, Th., 80, 81
Gregoire, A., 117
Gris, E., 137

Hager, G., 134
Hansteen, B., 132, 137
Haselhoff, E., 134, 135, 144, 146, 177
Hausmann, W., 28
Heiden, E., 100, 126
Hellriegel, H., 100, 122, 172, 179, 180
Hiltner, L., 138, 175
Hoff, van't, J. H., 78
Hlubek, J., 98
Hudig, J., 176
Hunius, 145

Ingen-Housz, 150

Jost, L., 104

Kappen, H., 106
Kaš, V., 142
Kellner, O., 176
Kiliani, 40
Kjeldahl, S., 30
Knop, W., 100, 101, 113, 124, 138
Koenig, P., 119
Kossel, A., 72
Kostytschew, S., 167, 168
Kreuzhage, C., 114
Krüger, W., 129

Lainé, 176
Lange, W., 117

Lawes, J., 177
Leitreiter, P., 144
Lemmermann, O., 115, 116, 135
Liebenberg, v., 132
Liebig, v., J., 2, 70, 98, 99, 125, 126, 127, 173, 177, 178, 182
Liebscher, G., 180
Linné, v., K., 57
Loeb, W., 184
Loew, O., 110, 134, 135, 143
Lucanus, B., 105, 121, 125
Lutz, L., 175

Mayer, A., 2, 6, 12, 13, 96, 98, 99, 101, 106, 115, 119, 122, 127, 173, 175, 179
Merkenschläger, F., 139
Meyer, D., 135
Mieth, H., 117
Mitscherlich, E. A., 109
Molisch, H., 25, 28, 137, 138, 139
Mosca, Traetta, 142
Müntz, A., 176

Negami, K., 105
Neméc, A., 142
Nernst, W., 78
Nobbe, F., 100, 102, 118, 121, 125, 180
Nolte, O., 135, 144, 145

Osterhout, W. J. V., 133, 135
Ostwald, Wi., 63, 78
Ostwald, Wo., 79, 80, 84
Overton, E., 128, 175

Palladin, W., 167
Pasteur, L., 168, 173
Petit, 139
Pfeffer, W., 126, 127, 186
Pfeiffer, Th., 109, 119, 128, 129, 130, 135, 139, 144, 145
Plinius, C., 177
Polstorff, 99, 100
Prazmowski, A., 180
Pringsheim, H., 141

Quensell, E., 106

Raumer, v., 132, 134
Reed, H. S., 110, 132, 136
Rippel, A., 130, 135
Russel, E. J., 109, 132

Sachs, J., 100, 113, 114, 137, 138
Sachsse, R., 29, 102
Salm-Horstmar, Fürst v., 100, 124, 137
Saussure, Th. de, 97, 99, 132, 150, 166
Schmidt, Jul., 182
Schrader, 96, 97
Schuhmacher, W., 124, 126
Schulow, J., 109
Schultz-Lupitz, A., 178, 179
Schultze, K., 144
Schulze, B., 124, 129
Schulze, E., 175, 185, 186
Schwarz, 97
Siedentopf, 81
Siegert, Th., 102, 118, 125
Simmermacher, W., 119
Sprengel, A., 97, 98, 99
Stoeckhardt, A., 178
Stohmann, F., 100, 125, 137
Stoklasa, J., 109, 140, 141, 143, 180
Stoll, A., 25, 152, 153
Stutzer, A., 106, 145
Suzuki, S., 139

Takeuchi, T., 117
Tammann, G., 142
Thaer, A., 97
Thalau, W., 106
Thenard, L. J., 117
Titoff, 106
Troensegaard, N., 182

Ungerer, E., 142

Vageler, H., 144
Ville, G., 173
Vogel, J., 117

Warthiadi, D., 132, 136
Weimarn, P. P., v., 80
Wiegmann, 99, 100
Wießmann, H., 115, 122
Wilfahrt, H., 122, 180
Willstätter, R., 25, 26, 27, 29, 136, 152, 153
Windaus, A., 34, 189
Woehler, F., 10, 11
Wolff, v., E., 114, 121, 126, 135, 178
Würtz, 37

Zaleski, W., 112
Zsigmondy, R., 78, 81

Sachregister

Abbau der Aminosäuren 186
— der Glukose 183
— des Chlorophylls 26
— der Fette 26, 31, 33
— des Lezithins 36
— der Kohlehydrate 183, 187
— Stickstoffführende — produkte der Pilze 169
Ackererde 3
Acrose 44
Adenin 90, 91
Adsorption 78, 79, 83
Aethan 41
Aether 22, 25
— extrakt 22, 29, 30, 35, 38, 39, 55
— thio — 107
Aethylalkohol 41, 46, 63, 161, 168
— amino — 162
Aethylamin 175
Aethylchlorophyllid 26
Aethylenoxyd 37
Aetiophyllin 26, 29
Aetzkalk 167
Agrikultur 1, 2
— Botanik 2
— Chemie 1, 3, 4, 6, 7
= ihre Beziehungen zu anderen Naturwissenschaften 1
= Entwicklung der — 1
= Inhalt und Wesen der — 1, 4
= als Naturwissenschaft 1
= als selbständige Wissenschaft 2, 4
— Geologie 2
— Physik 2
Alanin 67, 68, 69, 71, 72, 75, 88, 183, 184, s. a. α-Aminopropionsäure
— Dimethyl —, 69, s. a. Valin u. α-Aminoisovaleriansäure
— Leuzyl — 75
— Oxyphenyl — 71, s. a. Tyrosin
— Phenyl — 70, 88
Albumin 86, 110
— Eier — 87
— Milch — 87
— Nukleo — 109, 110
— Plasma — 87
— Serum — 87
Albuminoide 87
Albumosen 66
Aldehyd 42
— Alkohol — 40
— Azet —, 41, 161, 184
= Oxy — 162, s. a. Glykolaldehyd
— Benz — 58
— Form — 43, 44, 153, 182, 184, 189, s. a. Formalin
= — peroxyd 153
— Glykol — 41, 162, 163, 184
— Kondensation der — 188
— Oxydation der — 161
— Reduktion der — 161
— ungesättigte — 188
Aldohexose 42, 43, 45
Aldopentose 43, 45
Aldole 188
Aldolreaktion **162**
Aldose 42, 43, 45, 46
Aleuron 86
Alge 12, 109, 133, 148, 154
— Kiesel — 113
Alizarin 59
Alkalien 21, 27, 31, 54, 97, s. a. Kalium, Natrium
— als Lösungsmittel 55, 89
— als Spaltungsmittel 53, 65
Alkaloide 85, 89, 92, 175, 184
— Gewinnung der — 92
— Synthese der — 92
— Vorkommen der — in der Pflanze 92—96
Alkohol 22, 25, 30, 46, 50, 85, 187
— Aethyl — 41, 46, 63, 161, 168
— Aldehyd — 40, 41, 42, 45

Alkohol, Aminoaethyl — 38, s. Colamin
— Amyl — 187
— Cetyl — 34
— als Extraktraktionsmittel
— freier — in der Pflanze 33
— Isopropyl — 42
— Keton — 40, 41, 42
— als Lösungsmittel 26, 55
— Methyl — 26, 27
— Myrizil — 34
— Oxydation des — 41, 42
— Phytol — 26
Allyl
— amin 175
— jodid 107
— senföl 107
Aluminium 21, 103, 140, 141, **143**
Amandin 87
Ameisensäure 31, 153, 164
— amino — 67
— azetyl — 182, s. a. Brenztraubensäure
— per — 153
Amine
— tertiäre 175
Amino —
— aethylalkohol 38, 162, 184
— ameisensäure 67
— azetaldehyd 163, 184
— bernsteinsäure 73, s. a. Asparaginsäure
= amid 73, s. a. Asparagin
— buttersäure 68
— essigsäure 67, 75, 162, 163, 184, s. a. Glykokoll
— glutarsäure 73, s. a. Glutaminsäure
= amid 73, s. a. Glutamin
— glyzerin 183, 184
— glyzerinaldehyd 183, 184, s. a. Aminoglyzerose
— glyzerose 183, 184
— Kapronsäuren 69, s. a. Leuzin, Isoleuzin, Norleuzin, Lysin
— oxypurin 90, s. Guanin
— propionsäure 67, 183
— α-propionsäure 67, 183, s. a. Alanin
— β-propionsäure 67, 183
Aminosäure 61, 65, 66, **64—75**, 182, 186, 187
— Abbau der — 182
— aliphatische — 182
— als Bausteine der Proteïne 182
— Entstehung der — 182—186
— freie — in der Pflanze 89
Aminosäure, Gewinnung der — 70, 74
— heterozyklische — 71, 72, 73
— Synthese der — in der Pflanze 185
— trimethylierte — 175
Aminovaleriansäure 68, s. Valin
Ammoniak 10, 11, 88, 89, 162, 163, 171, 183, 184, 187
— düngung des Tabaks 93
— freies — in der Pflanze 89
— salz 170
— stickstoff 176
— stickstoffassimilation 173, 174
Ammonium
— brenztraubensaures — 183
— chlorid 120, 174
— cyansaures — 10
— huminsaures — 117
— karbaminsaures — 67
— karbonat 173, 174
— nitrat 173, 174
— oxaminsaures — 184
— phosphat 108, 174
— sulfat 85, 105, 117
— tetraaethyl — 175
— tetramethyl — 175
amphoter 85
Amygdalin 58, 185
Amyl
— alkohol 187
— amin 175
Amylane 52
Amylase 53, s. a. Diastase
Amylopektin 53, 54
Amylose 53, 54
Amylum 52, s. a. Stärke
Antagonismus 132, 143
Anthozyane 59
Antimon 103
Apatit 142
Apfelsäure 123, 164, s. a. Monooxybernsteinsäure
Arabinose 45
Arbutin 58
Arginin 69, 88
Arsen 103, 146
Asche 20, 22, 56
— analyse 95, 101, 103
— des Stalldungs 172
— Zusammensetzung der — 94
Aschebestandteile
— im allgemeinen 94—104

Aschenbestandteile, entbehrliche — 94, 95
— unentbehrliche — 94, 95, 100, 101
Asparagin 73, 88, 174, 175, 186, s. a. Aminobernsteinsäureamid
— säure 73, 88, s. a. Monoaminobernsteinsäure
Assimilation 136, 140, 165, 171
— des Ammoniakstickstoffs 173
— des Kohlenstoffs 24, 27, **147—153**, 160, 161
— des Salpeterstickstoffs 144, 173, 174
— des Stickstoffs 163, 170—181
— des freien Stickstoffs 179—181
— hypothese, Bayersche 153
— stickstoffhaltiger organischer Stoffe 174
Asymmetrie 20, 45
— des Kohlenstoffatoms 67
Atmung
— anaerobe 167, 168
— intramolekulare 168
— der Mikroorganismen 167
— bei Pflanzen 167—169
— prozeß 12, 16, 185
— sauerstoff 167, 168
— tierische 166, 169
Atropa Belladonna 93
Atropin 93
autotrophe Pflanzen 7, 23
Azetaldehyd 41, 161
Azeton
— als Lösungsmittel 22, 25, 29, 30
Azetylameisensäure 182, s. a. Brenztraubensäure
Azetylen 11

Bakterien 16, 62, 175, 187
— Faden — 107
Bakteriologie 2
Bakteroiden 180, 181
Baryum 103, 146
Basenaustausch
— im Boden 128, 129
Bausteine
— des Chlorophylls 25, 138
— des Cholins 162
— der Disaccharide 49, 51
— der Eiweißstoffe 57, 60, 66—76
— der Fette 31, 161
— des Lezithins 36, 162
— des Pflanzenkörpers 7
— der Phosphatide 111
Bausteine der Polysaccharide 51
— der Proteine 182
— stickstoffhaltige — der Eiweißstoffe 182
Bacillus radicicola 180
Bearbeitung des Bodens 3
Beggiatoa 107
Benzaldehyd 58
Benzin 22
Benzol als Lösungsmittel 30
Benzoylaminoessigsäure 70, 71, s. a. Hippursäure
Benzoylchlorid 71
Benzylamin 175
Bernsteinsäure 73
— Amino — 73, s. a. Asparagin
— Monooxy — 164, s. a. Apfelsäure
— Dioxy — 165, s. a. Weinsäure
Betaïn 38, 175, s. a. Trimethyloxyaminoessigsäure
Biochemie 4
Biokatalysatoren 64
Blatt
— farbstoff 22, 27, 104
— grün 23, 24
Blausäure 58, 182, 184, 185
Blei 103
Bleichsucht 138, 154
Blüten 24
Blut 27
— Buche 148
— farbstoff 27, 87, 104
Blutlaugensalz, gelbes 138
Boden 3, 5, 6, 7, 10
— Basenaustausch im — 128
— Bearbeitung des — 3
— Düngung des — 3
— Fruchtbarkeit des — 3
— humusarm — 117
— humusreich — 117
— Karbonate des — 150
— kieselsäurearm — 117
— kieselsäurereich — 117
— lehre 7, 8
— mikrobielle Vorgänge im — 144
— Stickstoffvermehrung des — 178
— Verschlechterung 130, 140
Bor 103, **146**
Botanik 3, 4
— Agrikultur — 2
Brenztraubensäure 160, 182, 183, s. a. Azetylameisensäure

Brom 103
Brown'sche Molekularbewegung 81, 84
Brucin 93
Buttersäure 31, 33, 50, 161
— Gärung 46, 50
Butylamin 175

Caesium 103, 125
Cannizaro'sche Reaktion 161—164, 183, 184
Caramel-Reaktion 46
Cetylalkohol 34
Cetin 34
Chemie 1, 3, 10
Chilesalpeter 120
Chinarinde 93
Chinin 92, 93
Chinolin 92
Chitin 57
Chlor 21, 103, **118—120**
Chlorhydrine 32
Chloride 21, 120
Chloroform, als Lösungsmittel 30
Chlorophyll 22, 23, **24**—30, 104, 136, 139, 140, **145—155**, 170
— a 25
— b 25
— Fluoreszenz des — 28
— freie Organismen 6, 13, 14, 16, 62, 137, 148
— freie Pflanzen 181, s. a. Organismen
— freie Zelle 170
— führende Organismen 6, 13
— führende Pflanzen 6, 7
— führende Zelle 13, 52, 170, 171
— Körner 24
— Komponenten 25, 138
— photodynamische Wirkung des — 28
— Reindarstellung und Gewinnung des — 29
— Roh — 25
Chlorophyllase 26
Chlorophylle 25
Chlorophyllide 26
Chlorophylline 27, 30
Chloroplasten 28, 132
Chlorose 138
Cholestearin 34
Cholesterin 22, 34
Cholin **36**—38, 60, 162, s. a Trimethyloxyäthylammoniumhydroxyd
— Konstitution des — 37
Chrom 103, 145
Chromatium 107
Cocaïn 93
Colamin 37, s. a. Oxyäthylamin
Colchiceen 92
Compositen 92
Cyan
— hydrin 44, 159, 185
— verbindungen 10
— wasserstoff 44, 185
Cyanate 11
Cyanin 59
Cysteïn 68, 183
— säure 68
Cystin 68, 88, 106, s. a. Diaminodithiopropionsäure
Cytosin 90, 91

Delphinin 59
Desaminierung 187
Desmotropie 20
Destillation
— fraktionierte 66
— trockene — der Knochen 29
— trockene — der Kohle 29
— trockene — der organischen Substanz 18
Dextrin 53, 54, 56, 62
Dextrose 47, s. a. Traubenzucker, Glukose u. Stärkezucker
Dialyse 84
Diamant 11
Diaminodithiopropionsäure 106, s. a. Cystin
Diastase 50, 62, 158, 159 s. a. Amylase
Diatomeen 113
Dichlorhydrin 32
Differenzmethode 100, 101, 121
Diffusion 78, 80, 82, 84, 149, 156
Digitalis 58
Dikarbonsäuren 164
Dimethylalanin 69, s. a. Aminovaleriansäuren und Valin
Dimethylxanthin 91, s. a. Theobromin
Diosen 43
Dioxybernsteinsäure 165 s. a. Weinsäure
Dioxysäuren 31
Dipeptide 75
Disaccharide 43, 49, 51, 62
— Verbreitung der — im Tier- und Pflanzenreich 49—50
Dispersion 84, 157
Dispersionsmittel 79, 81, 83, 84

Dissimilation 166
Dörrfleckenkrankheit 143
Druck, osmotischer 78, 81, 82, 125, s. a. Osmose
Dünger 7
— lehre 7, 8, 170
Düngemittel 9
— chlorhaltige — 119
Düngung 3, 10
— chlorfreie — 119
— Grün — 181
— Mineral — 10
— Natriumchlorid —, 127, 130
— Stickstoff — 114

Edestin 87
Eisen 21, 103, **137—140**
— chlorid 101, 102, 138
— Ersatz des Eisens durch andere Metalle 139
— Ersatz des — durch Titan 143
— kolloides — 138
— oxydul 139
— phosphat 101, 109
— qualitativer Nachweis in der Pflanze — 139
— sulfat 138
— Verbreitung des — in der Pflanze 137
Eiweiß **60**, 61, **85—89**, 106, 110, s. a. Eiweißstoffe
Eiweißstoff(e), 17, 39, 54, 56, 57, 65, **68—89**, 121, 136, 162
— Abbau der — 185
— Bausteine der — 60, **66—67**
— Bildung der — 181—183
— chemische Natur — 65
— einfache — 86
— Einteilung der — 86
— Farbreaktionen der — 85
— Farbstoff — 87
— Gewinnung und Darstellung der — 85
— Hydrolyse der — 61, 66, 74, 76, 77, 85, 164
— pflanzliche — 87
— quantitative Bestimmung des Stickstoffs in — 88
— Rein — 89
— Roh — 60, 88
— Synthese der — 75, 181
— tierische — 87
— Umwandlung im Samen 186
Eiweißstoffe, Wanderung der — 136, 186
— zusammengesetzte — 86
— Zusammensetzung der — des Pflanzenreichs 88, 89
Elektrolyt 83, 84
Emulsin 58, 62
Emulsion 30, 84
Emulsionskolloide 83
Emulsoide 83, 84
Energie
— gewinn 166
— umformer 15, 28
— verlust 166
— wechsel 15
— werte, chemische 14
Enzyklopädie 4
Enzym 53, 58, 62, **63**, 89, 111, 170, s. a. Fermente
— Wirkung 63, 66, 158
Equisetaceen 108
Erdalkalien 21
Ergosterin 34
Erukasäure 31, 32
Erythrit 42
Erythrodextrin 110
Essigsäure 31, 41, 63, 66, 161
— amino — s. a. Glykokoll
— isobutyl — 69, s. a. Leuzin
— oxy — s. a. Glykolsäure
Ester
— Glycerin — 31, 32, s. a. Fette
Etiolierung 154, 155
Etiolin 24
Euphorbiaceen 92
Euphorbon 34
Exhalationen, vulkanische 11
Extraktstoffe 22
— ätherlösliche — 22

Fadenbakterien 107
Fäulnis 16
Farbstoffe 188
Farbstoffeiweiß 87
Farnkraut 154
Feldbau 2
— Theorie des — 6, 7
Ferment(e) 26, 31, 46, 53, 58, 61, 62, **63**, 89, 111, 152, 158, 170
— des Pankreassaftes 158
— peptolytische — 77
— phytinspaltende — 111

Ferment(e) proteolytische — 61, 77, 186
— reaktion, Wesen der — 65
— des tierischen Speichels 158
Ferriphosphat 138
Ferrocyanwasserstoff 85
Fett(e) 11, 26, **30—31**
— Abbauprodukte der — 32
— Bildung der — **159—162**, 183
— extraktion 30
— Gallen — 34
— Hydrolyse der — 31, 164
— komponenten — 32, 164
— Neutral — 33
— Ranzigwerden der — 33
— als Reservestoff 33
— Roh — 39, 40
— säuren 31—33, 36, 160
— Verbreitung der — im Pflanzenreich 33
— Verbreitung der — im Tierreich 33
— Verseifung der — 27, 31
— Wanderungsfähigkeit — 163
Fibrinogen 87
Flavone 59
Flechte 148
Fleischfresser 5
Fluor 103, 141, **142**
— Verbreitung des — im Pflanzen- und Tierreich 142
Fluoreszenz des Chlorophylls 28
Formaldehyd 43, 44, 153, 182, 183, 189
— peroxyd 153
— Polymerisation des — 44, 45, 153, 184
Formalin, s. a. Formaldehyd
Formamid 184
Formose 44
Forschung 2—5
Fruchtzucker 42—47, **48**, 49—52, 62, 64, 159, s. a. Fruktose und Lävulose
Fruktose siehe Fruchtzucker, Lävulose
Fütterungslehre 9
Futtermittel 3, 9
— analyse 22, 23, 39, 59. 60, 88
— lehre 7
Fungisterin 34
Furfuran 29
Fuselöle 187, 188

Gärung 16, **167**, 187
— alkoholische — 46, 62, 167, 187, 188
— Buttersäure — 46, 50
— Milchsäure — 46, 50
Gärungsgewerbe 2, 5, 6, 7, 49
Galaktonsäure 47
Galaktose 45—51
Gallenfett 34
Gaultherin 58
Gefäßversuch 179
Gefrierpunktsbestimmung 82
Gel 83, 115
Gelatine 83
Gentianose 51
Geologie 2, 3
Gerbsäure 85
Gerstenextrakt 53
Gerüsteiweißsubstanz 87
Gesetz
— von der Erhaltung der Kraft 150
— Kalk-Kali — 139
— vom Minimum 99, 126
— der physiologischen Beziehungen 135
— der Wachstumsfaktoren 126
Gespinstfasern 35
Getreidelagerung 114, 115
Gewerbe, landw. techn. 2, 5
Gifte 92, 107
Gips 97, 101, s. a. Kalziumsulfat
Gliadin 87, 88
Globin 87
Globuline 86, 87, 110
Glukonsäure 48
— Reduktion der — 48
Glukoproteïde 87
Glukosamin **57**, 60, 74
— als Baustein von Eiweißstoffen 57
Glukose 45—51, 55—58, 62—64, 153, 159, s. a. Traubenzucker, Dextrose
— Abbauprodukte der — 46, 160, 183, 189
— Gewinnung der — 47
= synthetische — 48
— Vorkommen der — im Pflanzen- und Tierreich 47
Glutamin 73, 74, 186, s. a. Aminoglutarsäureamid
Glutaminsäure 73, 74, 88, s. a. Aminoglutarsäure
Gluteline 86, 87
Glykogen 50, 51, **56**
Glykokoll 67, 70, 71, 75, 87, 88, 162, 184, s. a. Aminoessigsäure, Glyzin, Leimsüß
— Ester-Chlorhydrat 70
Glykol 41, 162
— aldehyd 41, 162, 163, 184

Glykolamin 175
Glykolsäure 41, 162, s. a. Oxyessigsäure
Glykoside 46, **56**—58, 185
— Hydrolyse der — 46, 47, 57, 59
— Vorkommen der — in der Pflanze 58
Glyzeride 32, 33, s. a. Fette
Glyzerilphosphorsäure 36
Glyzerin 31—**35**, 36, 38, 42, 44, 91, 160
— Chlorsubstitutionsprodukte 32
— als Lösungsmittel 62
— phosphorsäure 109, 111
— säure 42, 183
Glyzerose 42—45, 153, 160, 183
Glyzil-Glyzin 75
Glyzin 67, 75, s. a. Glykokoll, Leimsüß
Graphit 11
Gründüngung 181
Guanidin 69, 175, s. a. Imidoharnstoff
— salpetersaures — 175
Guanin 90, 91, s. a. Aminooxypurin
Gummi 52
— Holz — 45
— Kirsch — 45

Hämatin 27, 29, 87
Hämatoporphyrin 29
Hämochromogen 27
Hämoglobin 27, 87
Hämopyrrol 29
Harn
— stoff 10, 67, 168, 169, 189, s. a. Karbamid
= Imido — 69, s. a. Guanidin
= Thio — 107
— ruhr 47
— säure **90**, 168, s. a. Trioxypurin
— zucker 47
Hefe 167, 187
— extrakt 167
— zellen 187
Hemizellulose 52
Heptosen 43
heterotroph 148
Hexose 43, 46, 48, 49, 52, 90, 91
— Aldo — 42, 45
— Isomerie der — 45
— Keto — 42, 43, 47, 52
Hippursäure 70, 71, 168, s. a. Benzoylaminoessigsäure
Histidin 72, 88, 188, s. a. α-Amino- β-imidazolpropionsäure
Histone 89
Holz 56
— gummi 45, 56
— zucker 45, s. a. Xylose
Hordeïn 87
Humus 117
— theorie **97**
Hydrochinon 58
Hydrolyse 26, 65
— der Eiweiße **61**, 66, 74, 76, 77, 164
— der Fette 27, 31, 33, 164
— des Glykogens 56
— der Glykoside 46, 47, 57, 59
— des Inulins 48
— des Malzzuckers 51
— des Milchzuckers 51
— der Nukleïnsäuren 59, 90
— der Nukleoproteïde 89
— des Pentosane 45
— der Polysaccharide 49, 52
— des Rohrzuckers 47, 48, 51
— der Stärke 47, 53, 54
— der Zellobiose 50, 51
— der Zellulose 47, 55
— der zusammengesetzten Zucker 50
Hypophosphite 109
Hypothese
— Bayersche Assimilations — 153
Hypoxanthin 90
Hysteresis 83

Imidazol 72, 188
— Methyl — 189
Imidoharnstoff 69, s. a. Guanidin
Imidosäuren 72
Iminosäuren 72
Iminowasserstoff 26
Indigo 59
Indol 71, 72
Infrarot 152
Inosit 48
Inositphosphorsäure 109
Inulin 48, 52
— Hydrolyse des — 48
Inversion 50, 63
Invertase 63, 64
Invertin 50, 62
Invertzucker 50
Jod 103, **141**
— Stärkereaktion 150
— Verbreitung des — im Pflanzenreich 141

irreversibel 83, 84
Isobutylessigsäure 69, s. a. Leuzin
Isocyansäureester 107
Isoleuzin 69, s. a. Amino-Aethyl-Methyl-propionsäure
Isomerie 20
— der Hexosen 45
— Stereo — 20
— Struktur — 20, 76
Isoosmose 127
Isothiocyansäureester 107

Kadaverin 70
Kaffeïn 91, 189, s. a. Trimethylxanthin
Kalium 21, 97, 103, **121—131**
— chlorid 120, 123, 133
— cyanat 107
— cyanid 11
— ferritartrat 138
— fluorid 142
— formiat 11
— hydroxyd 11, 31, s. a. -lauge
— karbonat 11
— lauge 31, s. a. — hydroxyd
= methylalkoholische 37
— Mangel an — 122, 129
— mono — phosphat 101, 102
— nitrat 101, 102, 123, 173
— oxalat, saures 164
— oxyd 129, 130
— phosphat 108, 123
— silikat 123
— stearat 31
— sulfat 105, 123, 133
— sulfid 107
— sulfit 105
— tartrat 165, s. a. Weinstein
— Verbreitung des — in der Pflanze 121, 132
— Vertretbarkeit des — durch Lithium 126
— Vertretbarkeit des — durch Natrium 124, 125, 126, 127—131
Kalk
— Ätz — 167
— Empfindlichkeit 139
— faktor, Lehre vom 134, 135
— feindlichkeit 139
— hunger 122
— Kaligesetz 139
Kalzium 21, 97, 103, 127, 131—137
— bikarbonat 134
Kalzium
— chlorid 120, 133, 134, 137
— Ersatz des — durch Strontium 134
— karbonat 106, 134
— monophosphat 134
— nitrat 101, 102, 134, 173
— oxalat 133, 164
— oxyd 134, 135
— phosphat 110, 112, 133, 134
— silikat 134
— sulfat 102, 105, 133, 134, s. a. Gips
— sulfid 106
— tartrat 133
— triphosphat 109
— Verbreitung des — in der Pflanze 131 bis 137
Kapronsäure 70
Karbamid 67, s. a. Harnstoff
Karbonate 12, 21, 120
— des Bodens 150
Karbonsäure
— Di — 164
— Mono — 164
— Tri — 165
Karotin 25, 152
Karotinoide 25
Katalysator 62, **63**, 64, 107
Katalyse **63**, 144
Kautschuk 48
Keimung 168
Kefirferment 50
Keratin 61
Ketonalkohole 40, 41
Ketohexose 42, 43, 47, 52, s. a. Fruchtzucker
Ketopropionsäure 182, s. a. Brenztraubensäure
Ketose 46
Kiesel
— fluorkalium 142
— skelett 114
— säure 113—118
= alkoholische — 115
= kolloidale — 115
= Verbreitung der — in der Pflanze 113, 114
Kirschgummi 45
Kleber 54, 86
Kleesäure 164
Kleister 53
Knoblauchöl 107

Knochendüngung 97
Knöllchenbakterien 144, 179—181
— erreger 191
Koagulation 85, 110
Kobalt 103
Koffeïn 93
Kohle 11
Kohlen
— dioxyd 11, 12, 13, 16, 147, s. a. Kohlensäure
— hydrate 11, 17, 31, **39**, 40, 41, 42, 119, 121, 122, 153, 155—159, s. a. Zucker
= Abbau der — 183, 187
= über die Natur der — 41
= Entstehung der — 155—157
= lösliche — 157
= Oxydation der — 160
= Stickstoffhaltige — 56
= Wanderung der — 47, 155, 157—159, 186
— oxyd 11, 184
— säure 12, 13, 15, 16, 41, 46, 50, 109
= der Luft 120, 150
= Reduktion der — 184
— stoff 11, 18, 19, 20, 21, 40, 60, 103, 153
= Assimilation des — 24, 27, 160
= Assymmetrie des — atoms 20, 45, 67
= verbindungen 12, 13
— wasserstoff 11
= Derivate des — 19
Kolloide 56, 60, 61, 62, 65, 77, **78—84**, 115, 157
— Einteilung der — 83
— Emulsions — 83
— Filtrierbarkeit der — 83
— hydrophyle — 83, 84
— irreversible — 83, 84
— Lösung der — 79
— Plasmahaut — 121
— reversible — 83, 84
— Suspensions — 83, 84
— Teilchengröße der — 81
Kondensation der Aldehyde 188
Konglutin 87
Kräftewerte 5
Kraft
— äußerung 3
— leistung 13, 16
Kristalldrusen in der Pflanze 164
Kristallisation 78, 86
Kristalloide 80, 157
Kruziferen
— Stickstoffsammelvermögen der — 180
Kryptogamen 173
Kumysferment 50
Kupfer 103, 145
— sulfat 145

Labiaten 92
Lävulose 47, s. a. Fruchtzucker u. Fruktose
Laktobiose 50, s. a. Milchzucker
Laktose 50, s. a. Milchzucker
Landbau 1, 3
Landwirtschaft 1, 3
Lauge als Lösungsmittel 39, 55
Lebewesen 10
Leimsüß 67, s. Glykokoll
Legumelin 87
Legumin 87, 88
Leguminosen 178—181
— Knöllchenbakterien der — 179—181
= Symbiose der — 179—181
Leukosin 87, 88
Leuzin 69, 75, 88, 175, s. a. Aminokapronsäuren
— Iso — 69
— Nor — 70
Leuzylalanin 75
Lezithide 38
Lezithin 22, **35**, 38, 109, 162
— Bausteine des — 36
— Konstitution des — 37
Licht 24, 147, 150, 169, 185
— ausnutzung 28
— energie 28
— entzug 154
— Polarisation des — 20, 44, 46, 49, 53, 71, 81
— zufuhr, ungenügende 24, 154
Lignin 40, 56
Linolsäure 31
Lipase 26, 163
Lipoide 30
Lithium 103
— Ersatz des Kaliums durch —, 126
Lösung, echte — 78, 82
— homogene — 80
— kolloide — 80
— Pseudo — 78
— scheinbare — 78, 82
Lösungsmittel
— Äther als — 22, 29, 30, 35, 39, 39, 55

Lösungsmittel, Alkalien als — 89
— Alkohol als — 26, 30, 55
— Glyzerin als — 62
— Lauge als — 39, 55
— organische Substanzen als — 22, 30, 39, 55
— Säuren als — 22, 39, 55
— Schwefelsäure als — 39, 55
— Wasser als — 30, 39, 46, 55, 62, 89
Luft 5, 6, 10
— Stickstoff 171, 176, 179
— Zufuhr, ungenügende 168
Lupeose 51
Lupine 92
Luxuskonsumption 126
Lysin 70, 88, s. a. Aminokapronsäuren

Magnesium 21, 25, 26, 27, 103, 127, **131—138**
— chlorid 120, 132, 137
— karbonat 137, 153
— nitrat 137, 173
— oxyd 134, 135
— phosphat 109
— sulfat 101, 102, 133, 137
— sulfit 105
— Verbreitung des —s in der Pflanze 134—137
Maltobiose 50, s. a. Malzzucker, Maltose
Maltose 50, 53, 54, 56, s. a. Malzzucker
Malz 50
— diastase 50
— extrakt 53
— zucker 49, 50, s. a. Maltose
= Hydrolyse des — 51
Mangan 103, 141, **143**, 144
— Vorkommen des —s in der Pflanze 143
Mannit 47, 48
Mannonsäure 47
Mannose 45, 46, 47, 48, 57
Mannozuckersäure 47
Manteltiere 55, s. a. Tunicaten
Materie
— organische — 10
— anorganische — 10
Membran 156, 157
— tierische 82
— pflanzliche 110
Metallkatalyse 63
Methoden, Forschungs — 3
— chemisch-analytische — 3
— bakteriologische — 3
Methoden, chemische — 8
Methyl
— alkohol 26
— amin 175
— glyoxal **160**, 182, 189
— jodid 37
— pentosane 52
— pentose 45
Mikroorganismen 46, 56, 175, 180
— Atmung der — 167
Mikroskop-Ultra 81
Milchsäure 20, 41, 46, 50, **160**, 182, s. a. Oxypropionsäure
— bakterien 46
— gärung 46, 50
Milchzucker 40, 48, 49, 50, s. a. Laktose, Laktobiose
— Hydrolyse des — 51
Mineralogie 2, 3
Mineralstoffe 16, 103
— Vorkommen der — in der Pflanze 104
Mineraltheorie 98, 99, 174
Minimum, Gesetz vom — 99
Molekularbewegung, Brownsche 81, 84
Molekular-Dispersoid 84
— konzentration 82
Monooxybernsteinsäure 164, s. a. Äpfelsäure
Monosaccharide 45, **46**, **47**, 51, 52, 158
Monose 43
Moor 145
Moose 154
Morphin 92, 93
Muskelarbeit 15
Muzin 57, 74, 87
Mycoderma aceti 63
Myogen 87
Myosin 87
Myricilalkohol 34
Myrosin 62
Myrtelin 59

Nährlösung 101
— Knops — 101
— Sachsses — 102
Nahrungsstoffe, menschliche 5
— der Pflanze 5, 17
— Abbau der 16
Narkotika 189
Natrium 21, 103, **121—130**
— chlorid 32, 123, 127, 133, 156
— — düngung 127, 130

Natrium als Ersatz für Kalium 124—131
— oxyd 129, 130
— palmitat 32
— phosphat 108
— sulfat 105
— sulfid 107
— titanat 143
— Verbreitung des — in der Pflanze 121, 127
Naturwissenschaft 1, 4, 99
Neutralfette 33, s. a. Fette
Nickel 103
Nikotin 92, 93
Nitrate, Reduktion der 185
Nitrifikation 173, 175
Nitrile 173
— Verseifung der — 184, 185
Nitrite 173
Nitrozellulose 55
Nomenklatur der Zucker 43
Nonosen 43
Norleuzin 70, s. a. Leuzin
Nukleïne 109, 136, 188
Nukleïnphosphorsäure 111
Nukleïnsäure(n) 45, 87, 90, 188, 189
— Hydrolyse der — 59, 90
— Konstitution der — 91
— Tritiko — 91
Nukleoalbumin 109, 110
Nukleoproteïde 60, 87, 89, 188, 189
— Hydrolyse der — 89
— Zusammensetzung der — 90
Nutzpflanze, landwirtschaftl. 6, 7

Öl(e)
— ätherische — 34, 188
— Allylsenf — 107
— bildung 136
— fette — 33, 158
— Fusel — 187, 188
— Knoblauch — 107
— Oliven — 33
— Rizinus — 33
— Rübsamen — 31
— Senfsamen — 31
Ölsäure 31
Oktaazetylzellobiose 55
Oktosen 43
Onin 59
Opaleszenz 81, 84
Opium 93
Organische Substanz
— Assimilation der — 174, 175
— als Lösungsmittel 22
— Produktion der 6, 10, 122
— stickstofffreie — 173
Organismen
— aerobe 168
— anaerobe 168
— chlorophyllfreie — 6, 13, 16, 62
— chlorophyllführende — 6, 13
— Gärungs — 46
— landw. genutzte — 1, 4
— Mikro — 46, 56
Orthophosphat 108
Osmose 78, 81, 82, 125, 156, 157, s. a. Druck, osmotischer
— Iso — 127
Oxäthylamin 37, s. a. Colamin
Oxalsäure 41, 126, 132, 164
Oxyazetaldehyd 162, s. a. Glykolaldehyd
Oxybernsteinsäuren 164
Oxyessigsäure 41, s. a. Glykolsäure
Oxydation 21, 183
— der Aldehyde 161
— einwertiger Alkohole 41
— der Kohlehydrate 160
— mehrwertiger Alkohole 42
— svorgang 12, 13, 164, 182
= im Tierkörper 150
Oxyphenylalanin 71, s. a. Tyrosin
Oxyprolin 72—74
Oxypropionsäure 41, **160**, 182, s. a. Milchsäuren
Oxypurin 90, s. a. Xanthin
Oxypyrrolidinkarbonsäure 73
Oxysäuren 31

Palmitate 32
Palmitinsäure 31
Pankreas 158
Papaveraceen 92
Papilionaceen 179
Parasiten 114
Pektinstoffe 52
Pentasaccharide 43, 51
Pentosane 45, 52, 56
Pentosen 43, 45, 46, 49, 52, 90, 91, 153
Pepsin 62
Peptasen 77
Peptidbindung 76
Peptone 66, 76, 77, 85, 186

Perameisensäure 153
Perchlorat 120
Pflanze(n) 1, 5, 6, 15, 16, 17
— alkaloide 89
— analyse 39, 59
— asche 18, 19, 20, 21, 103
— atmung 166
— antotrophe — 7, 23
— Bau der — 6
— Bleichsucht der — 137, 138, 154
— chlorophyllfreie — 14, 181
— chlorophyllführende — 6, 7
— Chlorose der — 137
— Ernährung der — 4, 6, 9, 12, 13, 97
— Ernährungserscheinungen der — 7
— Ernährungslehre der — 4, 6, 7, **10**
— etiolierte — 154
— heterotrophe — 148
— kaliliebende — 133
— kalkliebende, 133
— kieselsäureliebende — 133
— membran 35
— Nahrung der — 17
— natronliebende — 130
— niedere — 175
— phanerogame — 175
— produktion 5, 12, 13
— physiologie 2
— schleime 52, 54
— Strand — 141
— Wasserdurchströmungsvermögen der — 156
— zucht, physiologisch-chemische Grundlagen der — 2
Phaeophytin 152
Phanerogamen 109
Phase, disperse 78, 79, 81, 83, 84
— homogene 78, 79
Phaseolin 87
Phenylalanin 70, 88
Phlorhizin 58
Phosphate 21, 108, 109, 110, 111, 162
Phosphatide **30**, 35, 36, 91, 111, 163
Phosphite 109
Phosphor 21, 60, 103
— als Aschebestandteil der Pflanze 108 bis 112
— freier — 109
— molybdänsäure 85
— säure 27, 35, 36, 37, 38, 48, 54, 90, 91, 97, 108, 109, 111, 114, 116, 121, 162
Phosphorsäure, Verbreitung der — in der Pflanze 111
= Vertretbarkeit der — durch Kieselsäure 116
— Wasserstoff 109
Photosynthese 122
Phycocyan 87
Phycoerythrin 87
Phylloporphyrine 29
Physik 2, 3
Physiologie 2, 4
Phytase 111
Phytin 35, 48, 109, 111
— phosphorsäure 111
Phytol 26, 27
Phytosterin 34
Pikrinsäure 85
Pilze 105, 114, 126, 148, 175, 187
— gärungserregende — 6
— Schimmel — 16
Plasmaalbumin 87
Plasmaglobulin 87
Plasmasubstanz 187
Polarisation des Lichtes 20, 44, 46, 49, 53, 71, 91
Polymerisation 44, 45, 153, 184
Polypeptide 11, 66, 75, 76, 77, 186
Polysaccharide 43, 51, 52, 54, 62, 158
— Hydrolyse der — 49, 51, 52
Porphyrine 27, 29
Prolamine 86
Prolin 73, 74, 88
— oxy — 73, 74
Propionsäure 31, 66
— äthyl-methyl — 69, s. a. Isoleuzin
— α-amino — 67, 183, s. Alanin
— α-amino-β-imidazol — 188, s. Histidin
— β-amino — 67, 183
— Diaminodithio — 106, s. Cystin
— α-Keto — 182, s. Brenztraubensäure
— oxy — 40, 41, 160, 182, s. Milchsäure
Propylamin 175
Protamine 89
Proteasen 61, 77
Proteïde 60, 86, 87
Proteïne 61, 76, 77, 85, 86, 88, 107, 110, 121, 162
— Aussalzen der — 85
— Gehalt der Kulturpflanzen an Roh — 88
— qualitative Bestimmung der — 70
Protoplasma 24, 104, 127, 128, **148**, 170

Protoplasmabewegung 166
Prozesse
— chemische — 5
— enzymatische — 64, 65
— fermentative — 64, 65
— physiologische — 5
— physiologisch-chemische — 2
Ptyalin 62
Purin 90, 189
— Aminooxy — 90, s. a. Guanin
— basen **90**, **91**
— Dimethyldioxy — 189, s. a. Theobromin
— Oxy — 90
— Trimethyldioxy — 189, s. a. Kaffein
— Trioxy — 90, s. a. Harnsäure
Pyridil-Methylpyrrolidin 93
Pyridin 92, 175
Pyrimidin 90, 188, 189
— basen — **90**, 91
Pyrrolidin 72, 73
— karbonsäure 72, 73
— oxykarbonsäure 73
— Pyridilmethyl — 93
Pyrrol 26, **29**, 182
Pyrophosphat 109

Qualle 12
Quecksilber 103
Quelle, thermale — 11
Quellung 83

Raffinose 51
Ranunculaceen 92
ranzig 33
Reduktion 183
— der Aldehyde — 162
— der Kohlensäure — 184
— der Nitrate — 185
— der Salpetersäure 181, 185
Reduktionsprozeß 12, 13, 21, 150, 171
— im Pflanzenkörper 150
Regenwasser 174, 175
Reifungsvorgang 164
— des Obstes 164
Reinkulturen 180
Reiz —
— stoffe 141
— Düngemittel 141, 143, 145
Reservestoff 158
— Fett als — 33
— Rohrzucker als — 49
reversibel 83, 84
Rhamninose 51
Rhamnose 45, 46
Ribose 45, 91
Riechstoffe der Pflanze 188
Roheiweiß 60
Rohfaser 39, 40
Rohfette 39, 40
Rohproteïde 60
Rohrzucker 40, 48, 49, 50, 62—64, 159, s. a. Saccharose, Saccharobiose
Rohstoffe 5, 6, 149
Rotkohl 148
Rubidium 103, 125
Rübe, rote 148
Rübsamenöl 31, 32

Saccharide 43, 48
Saccharobiose 49, s. a. Rohrzucker
Saccharose 49, s. a. Rohrzucker
Salicornia 118, 127
Salpeter 170, 178
Salpetersäure 164, 171, 184
— freie, in der Pflanze 89
— Reduktion der — 181, 185
Salpeterstickstoff, Assimilation des — 145
Salzsäure 70, 71
Samen, Selbsterwärmung der keimenden — 169
Sandkulturmethode 100, 101
Saponin 59
Sauerampfer 164
Sauerklee 164
Sauerstoff 12, 13, 15, 18, 19, 21, 40, 60, 103, 151, 166, 167
Säure(n) 42, 53
— amide 73—77
— chloride 71
— imide 75
— als Lösungsmittel 22
— organische — 122, 163
— salpetrige — 165
— als Spaltungsmittel 31, 65
— Verbreitung der — in der Pflanze 164—165
— Wurzel — 164
Schießbaumwolle 55
Schimmelpilze 16
Schleimsäure 47
Schmarotzerpilze 114, 148
Schmetterlingsblüter 178

Schneewasser 176
Schutzwirkung 83, 117
Schwefel 20, 21, 60, 103, **105—108**
— dioxyd 21
— kohlenstoff als Lösungsmittel 30, 55
— qualitative Bestimmung des — in der Pflanze 107
— säure 107, 108
= als Lösungsmittel 39
— Vorkommen des — in der Pflanze 105
— „ „ — im Tierkörper 107
— wasserstoff 105, 107
Seetang 141
Seifen 32
Senföl(e) 105, 106, 107
Senfsamenöl 31
Serin 68, 88, 183, 184
Silber 103
Silicide 21
Silikate 21, 115
Silizium 21, 103, **113—117**
Sitosterin 34
Solaneen 92
Solzustand 79, 81, 83
Sonnen
— bestrahlung 151
— energie 16, 150
— licht 13, 147, 151, 169
Sorbit 47, 48
Spaltöffnungen 157, 169
Spektroskop 152
Sphärokristalle 53
Spyrogyra 109
Stachyose 51
Stärke 40, 47, 50—**53**, 86, 110, 118, 121, 122, 150—153, 158, 159, s. a. Amylum
— Eigenschaften der — 52
— Gewinnung der — 22
— Hydrolyse der — 47, 53, 54
— Jod-Reaktion 150
— Kleister 53
— Mehl 158, 159
— als Reservestoff 52
— Vorkommen der — 52
— Wanderung der — 121
— Zucker 47, s. a. Traubenzucker u. Glukose u. Dextrose
Stalldung, Asche vom — 172
Standort der Pflanze 5, 7
Stearate 31
Stearin 31
Stearinsäure 31, 36, 160
Sterine **30**, 34, **35**, 163
Stereoisomerie 20, 44
Stickstoff 10, 17—21, 26, 30, 60, 103, 152
— ätherlöslicher — 30
— Ammoniak — 176
— Assimilation des freien — 179
— Assimilation des — 162, 174
— Boden — 176
— Düngung 115, 170
— elementarer — 177, 179
— freier — 171, 177
— der Luft 171, 176, 179
— mehrer 178
— organisch gebundener — 176
— quantitative Bestimmung des — im Roheiweiß 88
— Salpeter — 176
— Sammelvermögen der Kruziferen 180
— Umwandlungen 3
— Zehrer 178
Stigmasterin 34
Stimulation 141, 142
Stoff
— wandlung 10
— wechsel 15, 17
= tierischer — 9, 10, 14, 56, 77
— unbelebter — 10
Strandhafer 118
Strandpflanze 141
Strontium 103, 146
— Ersatz des Kalziums durch — 134
Strukturisomerie 20, 76
Strychnin 93
strychnos nux vomica 93
Submikronen 81
Substanz
— anorganische — 10, 14
— belebte — 10
— organische — 10—15, 18, 19, 40, 60
= Erzeugung der — 11, 12
— unverbrennbare — 18
— verbrennbare —, 18, 19, 21, 40
Sulfate 21, 105, 106
Sulfatide 38
Sulfide 21
Sulfite 105
Suspensoid 83
Suspension 79—81, 84
— skolloide 83, 84
Symbiose 12, 179—181

Tabak 93, 114
— Brennbarkeit des — 120
Tabaschir 115
Tannin 59
Taurin 68
Technologie 3
Tellur 103
Terpene 25, 188
Tetraäthylammoniak 175
Tetramethylammoniak 175
Tetrapeptide 75
Tetrasaccharide 43, **51**
Tetrosen 42, 43, 44
Thallium 103
Theïn 89, s. a. Trimethylxanthin
Theobromin 91, 189, s. a. Dimethylxanthin
Thioäther 107
Thioharnstoff 107
Thiophen 29
Thiosulfate 105
Thymin 90, 91
Tier 1, 5, 6, 14—17
— Ernährung 5, 6, 9, 12
= lehre 4, 6, 7
= sprozeß 13
— Körper 3, 15, 48, 49, 67
= Oxydation im — 150
— Produktion 5
Titan 103, **142**
— Ersatz des Eisens durch — **142**
Translokation 122
Transpiration 103, 154
Trauben
— zucker **40—46**, 53, 55, 57, 159, s. a. Glukose, Dextrose
— säure 164
Trichlorhydrin 32
Triglyzeride 32, s. a. Fette
Trimethylamin 37
Trimethyloxyaminoessigsäure 38, s. a. Betaïn
Trimethyloxyäthylammoniumhydroxyd 37, s. a. Cholin
Trimethylxanthin 91, s. a. Kaffeïn, Theïn
Trioleïn 32
Triosen 42—44
Trioxypurin 90, s. a. Harnsäure
Tripalmitin 32
Tripeptide 75
Trisaccharide 43, **51**
Tristearin 32
Tritikonukleinsäure 91
Trockensubstanzbestimmung 18, 39
Tryptophan 71, 72, 88
Tunicaten 55, s. a. Manteltiere
Tunicin 55
Turmalin 142
Tyndalphänomen 81
Tyrosin 71, 89, 175, s. a. Oxyphenylalanin

Ultrafilter 82
Ultramikroskop 81
Ultraviolett 152
Urazil 90, 91

Valeriansäure 33
— Amino — 68
Valin 69, 88, s. a. Dimethylalanin und α-Aminovaleriansäure
Vegetationsversuch 173
Verbindungen
— aliphatische — 19, 66
— amphotere — 85
— aromatische — 19, 56, 66, 70, 71
— der Fettreihe 20
— heterozyklische 20, 29, 70, 71, 76
= Stickstoff — 175
— isozyklische — 20, 76
— salpetersaure — **173**
— silicoorganische — 115
— zyklische — 20, 56, 66
Verbrennung der organischen Substanz 15, 18, 21, 120
Vergeilung 115
Verseifung 26, 27, 31, 44, 184, 185
Verwesung 16
Viehhaltung, Theorie der — 6, 7
vis vitalis 11
Vitellin 35

Wachs 27, **30**, 34, **35**
Wachstum
— Kraftverbrauch beim — der Pflanze 15
Walrat 34
Wärme 15, 150, 169
Wasser 5, 12, 13, 16, 17, 19, 21, 40, 41, 147
— bikarbonathaltiges — 151
— kohlensäurehaltiges — 151
— kulturmethode 100, 105, 121, 124, 132, 136, 173
— als Lösungsmittel 30, 39, 46, 55, 62, 89
— verdunstung 103

Wasserdurchströmungsvermögen der Pflanze 156
Wasserstoff 11, 12, 13, 18—20, 40, 46, 60, 64, 103
Wasserstoffionenkonzentration 64
Weinsäure 20, 163, 164, **165**
Weinstein, s. a. Kaliumtartrat 165
Wirtspflanze 181
Wissenschaft 4, 6
— angewandte — 2, 3, 4
— Mutter — 4, 7
— reine — 2, 3
— Sammel — 4
Wolframsäure 85
Wurm, Symbiose des — 12
Wurzeln 169
Wurzelsäure 164

Xanthin 90, **91**, 189
— Dimethylxanthin — 91, s. a. Theobromin
— Hypo — 90
— methyliertes — 91, 189
— Trimethyl — 91, s. a. Kaffeïn, Theïn
Xanthophyll 24, 25, 152
Xanthoproteinreaktion 70
Xylan 56
Xylose 45, s. a. Holzzucker

Zeïn 87
Zell(e) **148**, 156
— chlorophyllfreie 170
— chlorophyllführende 13, 170, 171
— differentation 16
— inhalt 157
— Neubildung der — 157, 158
— saft 157
— Teilung, mitotische der — 110, 132
— Wachstum der — 157, 158
Zellkern 189
Zellobiose 49, 50, 55
— Hydrolyse der — 50, 51
— Oktaazetyl — 55
Zellulose 39, 40, 49, 50, 51, 54, 55, 56, 110, 157, 158
— Gewinnung der — 55
— qualitative Bestimmung der — 55
— Hemi — 52
— Hydrolyse der — 47, 55
— tierische — 55
— Vorkommen der — 54
Zeolithe 128, 129
Zink 103, **146**
— sulfat 85
Zinn 103
Zitronensäure 123, 164, **165**
Zucker **39—59**, 62, 110, 156, 163
— Caramelreaktion der — 46
— einfache — 43, 48
— Frucht — 42—52, **48**, 159, s. a. Fruktose, Lävulose
— Holz — 45, s. a. Xylose
— Hydrolyse des — 47
— Invert — 50
— Konstitution der — 43
— Malz — 49, 50, 51, s. a. Maltose, Maltobiose
— Milch — 40, 49, 51, s. a. Laktose, Laktobiose
— Nomenklatur der — 43
— produktion 130
— qualitative Bestimmung der — 46
— quantitative Bestimmung der — 46
— Rohr — 49, s. a. Saccharose, Saccharobiose
— Rüben — 40
— säure 47
— Stärke — 47
— Trauben — 42, 44, 46, **47**, 53, 55, 57 159, s. a. Glukose, Dextrose
— Wanderung der — 158
— zusammengesetzte — 42, 48, **49**
= Hydrolyse der — 50
Zwischenfruchtbau 181
Zymase 168

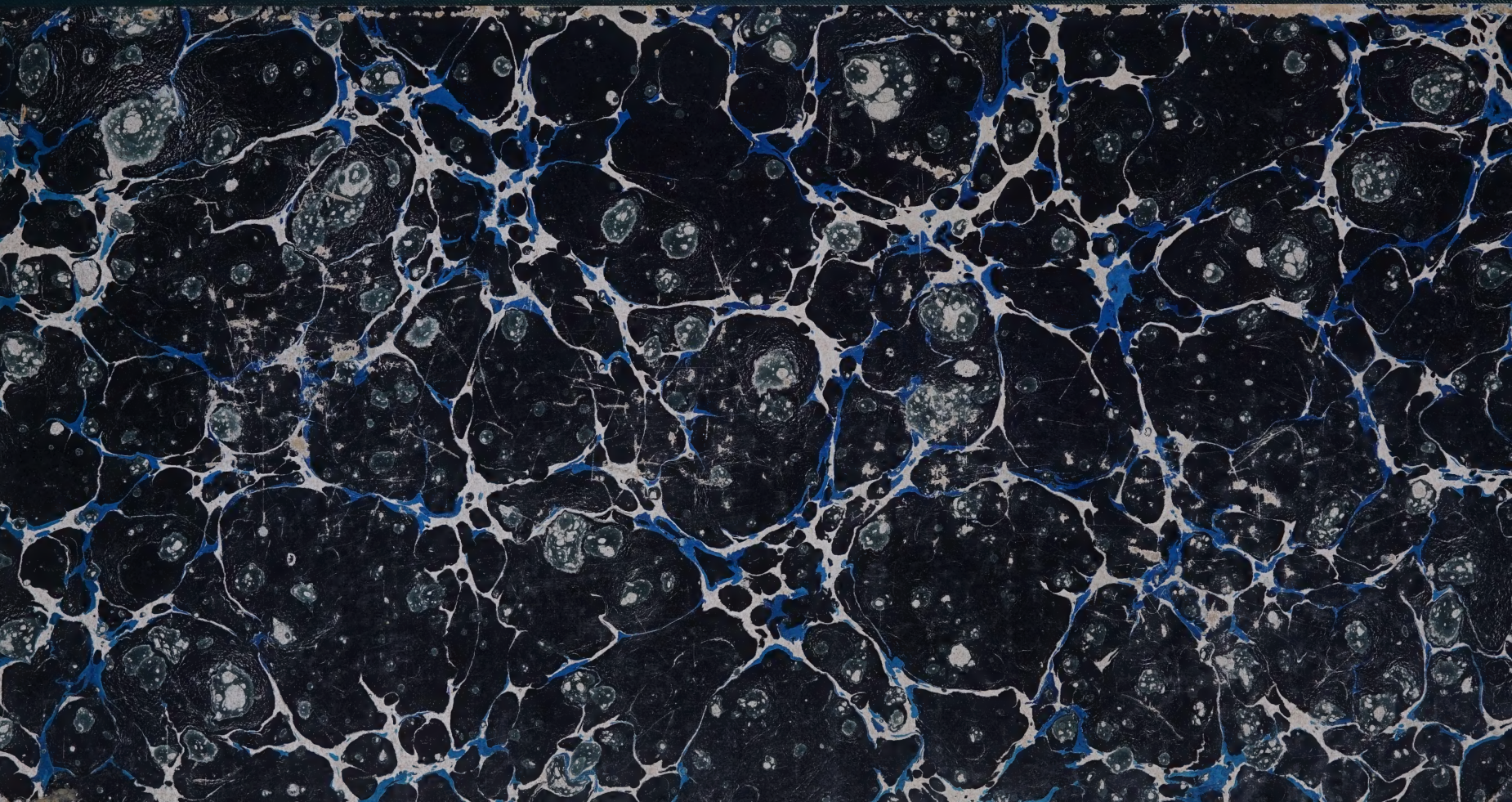
223349

Agric.
Soil.
H.

Author Haselhoff, Emil and Blanck, Edwin (eds.)

Title Lehrbuch der Agrikulturchemie. Vol. 1.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File"
Made by LIBRARY BUREAU